

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



## **Estudo do impacto visual da instalação de parques eólicos através da utilização de um modelo multicritério**

André Guerreiro da Encarnação

**Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente**

Dissertação orientada por:  
Doutora Ana Andrade (DGEG)  
Doutora Ana Estanqueiro (FCUL/LNEG)

2016



## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer à Dra. Ana Andrade e à Dra. Ana Estanqueiro por terem aceitado orientar-me na concretização deste trabalho.

À Dra. Ana Andrade um muito obrigado por todo o tempo despendido na minha orientação e todos os ensinamentos transmitidos. Estar-lhe-ei eternamente grato por todo o apoio dado.

Ao Professor Leonel Fadigas, pela disponibilidade para ser entrevistado, pela agradável conversa rica em ensinamentos que desempenharam um papel fundamental no desenvolvimento do trabalho.

Um grande obrigado ao Roberto e Bruno que me acompanharam nas saídas de campo para a recolha de fotografias. Aos meus amigos Pedro Marques e Pedro Ferreira, Daniela, Nélia, Vera, Maria e Elisabete pela motivação que me transmitiram.

Para o fim deixo o obrigado mais difícil de expressar em palavras “Obrigado Mãe!”.

## **Abstract**

The need to reduce CO<sub>2</sub> emissions has led to a growth in the energetic production from renewable sources. The expansion of the production provided by renewable sources has introduced new infrastructures causing changes to the pre-existing landscapes. Given the huge development in a short period of time, certain questions arised with regard to the social acceptance of wind park facilities. Thus, the need of studies concerning the impact caused by the installation and exploration of wind parks, in which the visual impact of the landscape should be evaluated.

Previous studies analysis show visual impact mostly taking into account the visibility of wind parks although several other factors that contribute to the visual impact should not be ignored.

Giving this subject involves several criteria of different nature, some objective, others rather subjective, with different weights and relevance, it was decided to use a Multiple-criteria decision analysis method.

In this paper, through literature review were identified factors related to the visual impact, which, together with information gathered in conversations with experts allowed to identify a set of criteria with which it was constructed a quantitative assessment model of visual impact.

In the proposed model are considered two fundamental points of view, Local Exposure and Local Landscape Change. For the first, a descriptor based on the number of observers and for the second, a descriptor divided in the one hand, Visual Intrusion (Defined by the visual occupation of the wind park influenced by the camouflage effect, that varies according to the orography of the surrounding landscape and weather) and on the other hand Modification to the Landscape Character, being the last one considered, for some authors and the specialist, the criteria that weighs more, showing a value 0.65 compared to the 0.35 regarding Visual Intrusion.

It is important to mention that the proposed evaluation model is configured so that it can be implemented in a Geographic Information System, creating an automated, quantitative measurement of the degree of visual impact that a wind farm will have on the entire area where the wind park can be seen.

For this reason the model seeks to evaluate first the impact of a single cell, then considering the total area of the visual basin.

## **Keywords**

Visual Impact, Multiple-criteria decision analysis (MCDA), MACBETH, Modification to the Landscape Character, Visual Intrusion, Local Exposure, Wind Park

## **Resumo**

A necessidade de redução nas emissões de CO<sub>2</sub> levou a um rápido crescimento da produção energética proveniente de fontes renováveis. A expansão da produção a partir de renováveis trouxe a introdução de novas infraestruturas, causando alterações às paisagens pré-existentes. Dado que essa expansão ocorreu num curto período de tempo, começaram a levantar-se questões ao nível da aceitação social da instalação de parques eólicos. Surge a necessidade do estudo do impacto causado pela instalação e exploração de parques eólicos, onde deve ser analisado o impacto visual na paisagem.

Os estudos anteriores analisam o impacto visual maioritariamente em função da visibilidade dos parques eólicos, no entanto existem outros fatores que contribuem para o mesmo e não devem ser ignorados.

Tratando-se de uma questão que envolve vários fatores de diferente natureza, uns objetivos, outros bastante subjetivos, com diferente relevância, optou-se por recorrer a Metodologias Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA).

Neste trabalho, mediante revisão bibliográfica foram identificados fatores relacionados com o impacto visual, o que, em conjunto com informação recolhida em conversas com especialistas, permitiu identificar uma família de critérios com que se construiu um modelo de aferição quantitativa de impacto visual.

No modelo proposto consideram-se dois pontos de vista fundamentais, Exposição Local e Alteração Paisagística Local. Para o primeiro foi constituído um descritor com base no número de observadores, o segundo divide-se na Intrusão Visual (definida pela ocupação visual do parque corrigida por um fator de camuflagem, que varia em função da orografia do terreno e estado do tempo) e na Modificação no Carácter da Paisagem (MCP), sendo a última considerada o fator de maior peso na avaliação do impacto visual de um parque eólico, por alguns autores e pelo especialista, Doutor Leonel Fadigas.

Salienta-se que o modelo de avaliação proposto foi configurado de modo a poder ser implementado em Sistema de Informação Geográfica, gerando uma aferição automática, quantitativa, do grau de impacto visual que um parque eólico terá em toda a área em que pode ser avistado. Por esse motivo no modelo procura-se avaliar primeiro o impacto numa só célula, considerando depois toda a área bacia de visualização.

## **Palavras-chave**

Impacto Visual, parque eólico, energia renovável, Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA), MACBETH, Modificação ao Carácter da Paisagem, Intrusão Visual, Exposição Local

## Índice Geral

Capítulo 1	
Introdução.....	1
Capítulo 2	
Revisão de literatura .....	3
2.1 - Métodos de avaliação de impacto visual .....	3
2.2 - Parâmetros de aferição do impacto visual .....	10
Capítulo 3	
Fundamentos teóricos .....	11
Metodologia multicritério de apoio à decisão .....	11
Capítulo 4	
Construção do modelo de avaliação .....	17
4.1 - Metodologia seguida neste trabalho .....	17
4.2 - Pontos de vista relevantes e critérios de avaliação .....	18
4.3 - Dependência entre pontos de vista .....	19
4.4 – Operacionalização dos critérios e subcritérios.....	22
4.4.1 - Exposição local .....	22
4.4.2 - Intrusão visual .....	25
4.4.3.1 – Ocupação visual.....	29
4.4.3.2 – Camuflagem .....	32
4.4.4 - Modificação no caráter da paisagem.....	34
4.5 – Agregação.....	37
4.5.1 - Alteração paisagística local .....	37
4.5.2 - Impacto visual local.....	38
4.5.3 - Impacto visual global.....	39
Capítulo 5	
Discussão .....	40
Capítulo 6	
Conclusões .....	41
Bibliografia .....	43

## Índice de Figuras

Figura 1 – Fases de implementação do método MCDA baseado na Teoria do Valor.....	11
Figura 2 – Propriedades dos membros de uma família de critérios. ....	12
Figura 3 – Tipos de descritores. ....	14
Figura 4 – Árvore de valor para impacto visual de um parque eólico. ....	19
Figura 5 – Exemplo de níveis de desempenho do descritor camuflagem.....	21
Figura 6 – Níveis do descritor número de observadores nas células em função do tipo de zona .....	23
Figura 7 – Níveis qualitativos do indicador Exposição Local. ....	23
Figura 8 – Matriz de julgamentos do indicador Exposição Local. ....	24
Figura 9 – Escala de valor do descritor para Exposição Local. ....	24
Figura 10 – Matriz de julgamentos do descritor Intrusão Visual. ....	28
Figura 11 – Função de valor que relaciona a ocupação visual com a correspondente intensidade de preferência .....	28
Figura 12 – Campo de Visão Humana .....	29
Figura 13 – Campo de visão do estudo .....	29
Figura 14 – Área ocupada pela turbina .....	30
Figura 15 – Ocupação visual num ponto devida a um parque com 1, 3 ou 7 turbinas, localizado a diferentes distâncias. ....	31
Figura 16 – Níveis qualitativos do indicador Modificação no Carácter da Paisagem .....	34
Figura 17 – Matriz de ponderação de julgamentos e termómetro do indicador MCP . ....	37
Figura 18 – Matriz de ponderação de julgamentos e ponderação do indicador APL.....	38
Figura 19 – Matriz de ponderação de julgamentos e ponderação do indicador IVL .....	39

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Fator de correção em função da situação .....	3
Tabela 2 – Fator de correção em função do número de turbinas .....	4
Tabela 3 – Coeficiente em função da distância.....	4
Tabela 4 – Coeficiente em função do número de pessoas .....	4
Tabela 5 – Determinação do nível de impacto visual .....	5
Tabela 6 – Valores de climatologia .....	6
Tabela 7 – Parâmetros de aferição do impacto visual retirados da bibliografia. ....	10
Tabela 8 – Classificação do espaço com base em índices urbanísticos brutos .....	22
Tabela 9 – Níveis do descritor Ocupação visual.....	26
Tabela 10 – Ocupação visual de um parque eólico.....	31
Tabela 11 – Níveis do descritor camuflagem .....	32
Tabela 12 – Descrição dos níveis de Modificação ao carácter da paisagem.....	35
Tabela 13 – Níveis do descritor Modificação no Caracter da Paisagem .....	36

## **Lista de Abreviaturas**

APL – Alteração paisagística local

EIA – Estudo de impacto ambiental

EL – Exposição local

IV – Intrusão visual

IVL – Impacto visual local

IVG – Impacto visual global

GEE – Gases de efeito de estufa

MACBETH - Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique

MCDCA - Multiple-criteria decision analysis

MCP – Modificação do carácter da paisagem

MMAD – Modelo multicritério de apoio à decisão

OV – Ocupação Visual

PV – Ponto de vista

PVF – Ponto de vista fundamental

SIG – Sistemas de informação geográfica



## Capítulo 1

# Introdução

As energias renováveis são formas de energia provenientes de recursos naturais, que se renovam constantemente e de um modo sustentável, como por exemplo a partir da água da chuva, ondas, vento, sol, biomassa e o calor da terra. Esta energia é convertida em energia elétrica através de aerogeradores, painéis solares fotovoltaicos, barragens, ou em energia térmica e para aquecimento de água através de painéis solares térmicos.

Desde a revolução industrial a necessidade energética tem vindo a aumentar consideravelmente, levando à exploração exaustiva dos combustíveis fósseis, que são recursos de energia não-renováveis e altamente poluentes. Com as metas para redução nas taxas de emissão de gases de efeito de estufa (GEE) tornou-se imperativo que a produção de energia a partir de combustíveis fósseis fosse reduzida e aumentada a produção de energias renováveis. Contudo, com a necessidade desse aumento torna-se necessário a implementação de novas infraestruturas para a produção, o que leva a alterações na paisagem pré-existente, surgimento de torres eólicas de 100m, subestações, acessos às torres, entre outros, causando um grande impacto a nível da aceitação social dos projetos.

Tornou-se indispensável que esses impactos fossem considerados e fizessem parte de todo o processo que antecede a fase de construção do empreendimento, após uma fase de expansão inicial das renováveis em que a opinião pública foi largamente negligenciada (Carlman, 1984). Carlman foi a primeira a introduzir a opinião pública como um fator de apoio à decisão, no que diz respeito ao desenvolvimento de projetos de implementação de parques eólicos, em conjunto com os restantes envolvidos no projeto (Carlman, 1984).

Para poder estudar o impacto visual da instalação de um dado projeto é necessário numa primeira fase caracterizar a paisagem pré-existente avaliando a beleza cénica do local, sendo a beleza cénica de uma paisagem definida por vários fatores. As paisagens são caracterizadas pelos elementos que a compoem, como montanhas, vales, árvores, estradas e edifícios (Schirpke et al, 2013). O carácter de uma paisagem é pois definido em função desses elementos presentes na área relevante: geologia, tipo de vegetação, uso dos solos. A própria caracterização da paisagem conduz a uma reflexão sobre quais os aspetos que devem ser considerados quando se está a efetuar um estudo sobre o impacto visual de um dado projeto.

Em Portugal, no ano de 2000, foi legislado pelo D.L. 69/2000 de 3 de Maio quais os projetos que careciam de avaliação de impacto ambiental (AIA). Por exemplo, instalações para a produção de energia hidroelétrica; armazenagem de gás natural à superfície; instalações de combustão para a produção de energia elétrica, de vapor e de água quente, todos com potência superior a determinados valores indicados na legislação, entre outras especificações. Com as alterações propostas para a estratégia nacional para a energia, definidas em Conselho de Ministros (Resolução nº 169/2005 de 24 de Outubro), foi criado um quadro legislativo estável e transparente para o setor da energia, concretizado através do D.L. 225/2007 de 31 de Maio.

Apesar de nos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) o impacto visual ser um tema sempre considerado, este tem sido abordado de forma incompleta na medida em que, como se identificou por revisão bibliográfica, nenhum estudo engloba todos os parâmetros que se reconhece influenciarem tal impacto. Também se verifica não existir um modelo fixo para avaliação do mesmo. Este estudo visa construir um modelo que permita quantificar o impacto

visual de um parque eólico tendo em conta um leque mais alargado de parâmetros, contribuindo também para a constituição de um modelo padrão de aferição de impacto visual de parques eólicos.

Tendo em conta que se trata de um problema complexo, que envolve opinião pública e que foca um tema controverso e com alguma subjetividade, adotou-se um método multicritério de apoio à decisão, que permita estruturar os pontos de vista envolvidos e, de um modo metodologicamente correto, quantificar aspetos subjetivos harmonizando-os com os mais objetivos.

Será pois necessário que, no decorrer do estudo, sejam considerados todos os aspetos fundamentais ao processo, assim como as opiniões dos vários intervenientes no mesmo, não só os envolvidos no desenvolvimento do projeto mas também, tendo em conta os diversos elementos sujeitos ao impacto visual causado pelo mesmo, residentes, trabalhadores, vias de transporte, entre outros.

O modelo de avaliação será configurado de modo a poder ser implementado em Sistema de Informação Geográfica, gerando uma aferição automática, quantitativa, do grau de impacto visual.

O presente trabalho está estruturado em 6 capítulos. No capítulo 1 – Introdução – é contextualizado o enquadramento no qual o estudo se insere, baseado na literatura, são determinados os fatores que levaram à necessidade do estudo do impacto visual; no capítulo 2 – Revisão de Literatura - foram analisados métodos de avaliação de impacto visual que já foram desenvolvidos; no capítulo 3 – Fundamentos teóricos – é efetuada uma exposição da Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão, onde são descritas as fases de construção do modelo e características que o mesmo deve respeitar; no capítulo 4 – Construção do modelo de avaliação – é descrito como, neste estudo em particular, foi construído o modelo de avaliação, expondo os pontos de vista relevantes e critérios de avaliação, dependência entre pontos de vista e posterior operacionalização dos critérios e subcritérios; no capítulo 5 – Discussão – foram justificadas critério a critério as escolhas efetuadas para o desenvolvimento do modelo e referidas possíveis melhorias em cada um dos indicadores; no capítulo 6 – Conclusões – foram enunciadas as conclusões retiradas da construção do modelo e mencionadas as potencialidades para um trabalho de futuro onde fosse implementado o modelo desenvolvido.

## Capítulo 2

### Revisão de literatura

#### 2.1 - Métodos de avaliação de impacto visual

Existem alguns trabalhos no âmbito da avaliação de impacto visual da instalação de parques eólicos nos quais, maioritariamente, é utilizado o “Método Espanhol” uma vez que é dos poucos que quantifica o impacto visual de um parque, ou seja, traduz em número o impacto causado tendo em conta vários fatores, sendo possível efetuar uma comparação de impactos entre parques de forma mais objetiva. No entanto no “Método Espanhol” não é considerado o impacto causado nos utentes das estradas e acessos na envolvente do parque. Este, apesar de ser um impacto temporário, não deve ser esquecido uma vez que apesar de ter uma duração variável, pode afetar um grande número de observadores. Outro aspeto negligenciado é a envolvente do parque: um mesmo parque instalado num local com valor patrimonial, histórico, turístico não deve ser equiparado a um mesmo parque instalado nas proximidades de uma zona industrial por exemplo.

##### “Método Espanhol”

- a) O Coeficiente de visibilidade de um parque eólico visto de uma aldeia (a)

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{X_i}{WM}}{n} \quad (1)$$

n – é o número de áreas dentro da vila com diferentes vistas para o parque

X<sub>i</sub> – é o número de turbinas visualizadas do ponto i

WM – é o número total de turbinas do parque

- b) Coeficiente de visibilidade de uma aldeia visto de um parque eólico (b)

$$b = \frac{\text{número de casas visíveis do parque}}{\text{número de casas}} \quad (2)$$

- c) Coeficiente de visibilidade de um parque eólico assumindo um cuboide (c)

$$c = n * v \quad (3)$$

Tabela 1 – Fator de correção em função da situação

Vista	Fator v
Frontal	1,00
Diagonal	0,50
Longitudinal	0,20

Tabela 2 – Fator de correção em função do número de turbinas

Número de turbinas	Fator $n$
1 – 3	0,50
4 – 10	0,90
11 - 10	1,00
21 - 30	1,05
>30	1,10

d) Coeficiente de distância entre a vila e o parque eólico (d)

Tabela 3 – Coeficiente em função da distância

Distância x	Coeficiente d
$x < 500$ m	1,00
$500 < x < 6000$ m	$1,05 - 0,0002 * x$
$6000 \text{ m} < x$ (Se a turbina for visível)	0,10

e) Coeficiente de população da vila

O impacto será maior quanto maior o número de pessoas a visualizar o mesmo

Tabela 4 – Coeficiente em função do número de pessoas

Número de pessoas	Coeficiente e
> 300	1,00
100 – 300	0,90
50 – 100	0,60
20 – 50	0,45
5 – 20	0,35
1 – 5	0,20
0	0,00

*Partial Assessment 1:*

$$PA1 = a * b * c * d \quad (4)$$

Através deste cálculo obtém-se o valor de impacto (entre 0 e 1) de um parque para cada vila

*Partial Assessment 2:*

$$PA2 = a * b * c * d * e \quad (5)$$

A diferença entre o PA1 e o PA2 é que o primeiro tem em consideração o coeficiente de população, uma vez que o impacto de cada vila não pode ter a mesma medida derivado à variação do número de pessoas a visualizar o mesmo.

Tabela 5 – Determinação do nível de impacto visual

Partial assessment	Nível de impacto
0,00 - 0,10	Mínimo
0,10 - 0,30	Fraco
0,30 - 0,50	Médio
0,50 - 0,70	Forte
0,70 - 0,90	Muito Forte
0,90 - 1,00	Extremo

- (a) Impacto mínimo: a instalação do parque eólico não tem qualquer impacto.
- (b) Impacto fraco: é recomendada a redução no impacto através da camuflagem (por exemplo, cor e/ou vegetação).
- (c) Impacto médio: devem ser feitos esforços de forma a reduzir o impacto visual, deslocando algumas das turbinas que estejam mais próximas de habitações.
- (d) Impacto forte: deverá ser corrigida parte integral ou total da localização do parque eólico.
- (e) Impacto muito forte: a localização do parque deve ser revista e corrigida em parte ou na totalidade, preferencialmente mudando de local.
- (f) Impacto extremo: não existem razões válidas que justifiquem a instalação do parque eólico

Coeficiente de pessoas afetadas

$$C = \sum \frac{a*b*(NH_m)}{NTHE} \quad (6)$$

$NH_m$  – Número de pessoas da vila m

$NTHE$  – número de pessoal total da área analisada

Através da aplicação do método espanhol obtém-se um valor de impacto visual da instalação de um parque eólico (Valor entre 0 e 1). Este método tem em consideração o impacto causado nas vilas próximas da instalação de um parque tendo em conta, o número de habitantes sujeito ao impacto, a distância e orientação ao parque, rácio de turbinas visualizadas face ao número total de turbinas.

O método apenas considera como pessoas afetadas pelo impacto os habitantes das aldeias. Foi considerado relevante para este trabalho que não devem apenas ser considerados os habitantes das aldeias que visualizam o parque mas também os utilizadores das estradas, acessos, caminhos-de-ferro, pontos turísticos. Pode ser um erro grave ignorar os utilizadores dos pontos turísticos, uma vez que o impacto visual causado numa paisagem que tenha uma forte componente turística pode levar a alterações a nível das economias locais, tornando-se relevante a consideração destes utilizadores como critério. O facto de existirem diferentes

tipos de visualizadores torna também imperativo que seja tido em conta o tempo de exposição ao impacto (J. P. Hurtado et al, 2003).

### Desenvolvimento de um indicador multicritério

Torres-Sibille (T.Sibille, 2009) abordou o tema do impacto visual de um parque eólico através da construção de um indicador multicritério. Foram estudados em cinco parques distintos a visibilidade (7), cor (8) (climatologia surge como fator de correção a  $I_{cl}$  e  $I_v$  (10)), fractalidade (11) e continuidade (12).

De acordo com o estudo efetuado aos cinco parques, os especialistas concluíram que o indicador de visibilidade ( $I_v$ ) poderia ser dado pela seguinte relação:

$$I_v \begin{cases} 0.184x & \text{para } 0 < x \leq 0.7, \\ -0.003x^2 + 0.114x + 0.051 & \text{para } 0.7 < x \leq 12.3, \\ 1 & \text{para } 12.3 < x \leq 20, \end{cases} \quad (7)$$

Onde,  $x = 100 * \frac{S_{fa}}{S_{ba}}$

$S_{fa}$  – Área ocupada pelas turbinas (área do mastro + área da elipse formada pela rotação das pás)

$S_{ba}$  – Área da fotografia

O indicador cor é obtido através do *software* CIELAB onde é analisada a cor brilho e saturação e são comparadas as características do objeto introduzido com a paisagem pré-existente. Com base na comparação foi definido o indicador cor ( $I_{cl}$ )

$$I_{cl} \begin{cases} 0 & \text{para } 0 < x \leq 5, \\ -\left(\frac{356}{10^9}\right)x^2 + \left(\frac{12}{10^4}\right)x + \left(\frac{56}{10^4}\right) & \text{para } 5 < x \leq 1563, \\ 1 & \text{para } 1563 < x \leq 1700, \end{cases} \quad (8)$$

$x$  Corresponde aos pontos CIELAB obtidos pela diferença entre as características das turbinas e paisagem.

Tabela 6 – Valores de climatologia

Climatologia i	Fator de climatologia $X_i$
Céu limpo	1,00
Outro	0,75
Chuva	0,50
Nevoeiro	0,25

Tendo em conta as condições atmosféricas influenciam na visibilidade e percepção da cor irão pesar nestes indicadores

$$I'_v = \beta * I_v \text{ e } I'_{cl} = \beta * I_{cl} \quad (9)$$

Onde,

$$\beta^* = \sum_{i=1}^n P_i(\beta^* = X_i) \cdot X_i \quad (10)$$

$X_i$  é o valor atribuído pelos especialistas a uma dada climatologia e  $P_i$  a sua probabilidade de ocorrência num determinado dia do ano.

Fractalidade ( $I_f$ )

$$I_f = \begin{cases} 0 & \text{para } x = 0, \\ 1 & \text{para } 0 < x \leq 0.7 \text{ e } 1.7 \leq x \leq 2, \\ -0.3^{-1}x + 0.3^{-1} & \text{para } 0.7 \leq x \leq 1, \\ -2.04x^2 + 6.94x - 4.9 & \text{para } 1 \leq x \leq 1.7, \end{cases} \quad (11)$$

$x = \frac{D_{fa}}{D_{fb}}$  Onde,

$D_{fa}$  é a dimensão fractal do parque e  $D_{fb}$  dimensão fractal da paisagem

Continuidade ( $I_{ct}$ )

$$I_{ct} = f(1.05^{t_{wf} - t_{tl}}) \quad (12)$$

A.d.C. Torres Sibille et al. / Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 40–66 53



Fig. 8. The concept of continuity. In this picture the number of turns of the wind farm is 5 and the number of turns of the topographic line is 0.

O indicador  $OAI_{WF}$  é derivado da combinação matemática dos indicadores  $I_v$ ,  $I_{cl}$ ,  $I_f$  e  $I_{ct}$ . Estas variáveis são colocadas na fórmula (12) sob a forma de um somatório ponderado.

$$OAI_{WF} = \beta^* \cdot (0.64 \cdot I_v + 0.19 \cdot I_{cl}) + 0.09 I_f + 0.08 I_{ct} \quad (13)$$

## Visibilidade

É utilizado um algoritmo para calcular a visibilidade tendo em conta a elevação da superfície, as dimensões da instalação, relevo da paisagem e a curvatura da terra (Rodriguez *et al.* 2009). Desta análise resulta um mapa de visibilidade com um valor booleano indicando se a instalação é ou não visível em cada localização:

Relevo (R),

Altura da cobertura da terra (L),

Altura da instalação ( $I_h$ ) largura ( $I_w$ )

Altura do observador (O)

O fator de discernibilidade é o tamanho mínimo que um objeto tem de ter para que possa ser visualizado. Shang & Bishop (Shang & Bishop, 2000) estabeleceram que o mínimo objeto visível por uma pessoa de acuidade visual normal ocupa  $25 \text{ min}^2$ . Foi adotado este

conceito para determinar a distância máxima a partir da qual um determinado objeto deixa de ser visualizado. O fator de discernibilidade difere de instalação para instalação uma vez que uma das variáveis é a dimensão das mesmas. Para uma determinada instalação a relação entre o fator de discernibilidade e a dimensão é dada pela expressão:

$$\Delta_t = \sqrt{I_t^W I_t^h c / 25} \quad (14)$$

Onde  $c = (180 \times 60 / \pi)^2 \approx 1.18 \cdot 10^7$  é uma constante para conversão de esterradianos em minutos quadrados.

São identificados os pixéis  $i$  ocupados por uma instalação de energia renovável a uma distância  $\Delta_t$  do observador (pixel  $o$ ), são traçadas linhas do ponto de observação  $o$  ao topo da instalação no pixel  $i$ , para cada pixel intermedio  $n$  é comparada a altura da linha de visão é comparada com a soma do relevo e do coberto vegetal  $R_n + L_n$ , é atribuído o valor 1 caso não haja interceção das linhas de visualização com o relevo e coberto, obtendo assim um pixel visualmente afetado.

Índices de impacto visual

Área Visual afetada (VA), é a fração da área de superfície numa dada região de onde a instalação pode ser visualizada

$$V_A = \frac{\sum i S_i^a}{S} 100 \quad (15)$$

$S$  – área total na zona em estudo

$S_i^a$  é a área visualmente afetada do pixel  $i$

Área em que a população é visualmente afetada (VP), é dada pelo rácio entre a área com população visualmente afetada (EEA 2003) e a extensão de área urbana da zona em estudo.

$$V_P = \frac{\sum i S_i^{pa}}{S^p} 100 \quad (16)$$

$S_i^a$  é dado pela área populada afetada do pixel  $i$  e  $S^p$  área total populada da zona de estudo.

Tempo de viagem visualmente afetado é a fração de tempo em que as instalações de energias renováveis são vistas, o cálculo é feito separadamente (estradas e caminhos de ferro), é dado pelo rácio entre o tempo visualmente afetado e o tempo total da viagem

$$V_T = \frac{\sum t_i^t}{t_t^t} 100 \quad (17)$$

$t_i^t$  é tempo de viagem visualmente afetado do pixel  $i$  e  $t_t^t$  o tempo total da viagem .

O tempo de viagem dentro de um pixel (horas por ano) é definido como o tempo que um veículo demora a atravessar o pixel vezes o número de veículos por ano e é estimado como o rácio entre o comprimento do pixel e a velocidade média em estrada.

Estimativa da perceção visual

A estimação da perceção visual é uma tentativa de quantificar o impacto visual causado pela instalação de energias renováveis. Para este fim foi desenvolvido um algoritmo baseado no conceito de magnitude visual (Iverson, 1985), sendo este valor definido pelo produto dos ângulos de visualização verticais e horizontais de um objeto. Para vários objetos e instalações foi definido um índice de perceção visual de uma determinada localização como o ângulo sólido ocupado por todos os elementos da instalação na área de estudo. O cálculo é feito de forma semelhante, no entanto em vez de ser obtido um valor binário para o pixel  $o$ , o índice de perceção  $P_o$  é calculado como o ângulo solido total dividido por  $2\pi$  esterradianos e expresso como percentagem:

$$P_o = \sum_i \frac{A_t}{2\pi D_{oi}^2} 100 \quad (18)$$



Onde  $A_t$  é a área visível das instalações (do tipo  $t$ ) no pixel  $i$ , e  $D_{oi}$  a distância entre o ponto de observação  $o$  e o ponto da instalação  $i$ . O ângulo de visualização é calculado pela razão entre a área visível da instalação e o quadrado da distância. Como seria esperado diminuir à medida que a distância aumenta. De forma a simplificar os cálculos foi definido como área visível de uma instalação  $t$  um retângulo,  $A_t = I_t^w I_t^h$ , e pode ser ocultada ou excluída parte da área da base das instalações pelo terreno ou coberto vegetal. A equação de cálculo de  $P_o$  considera metade do ângulo sólido total, que é um valor bastante superior ao campo de visualização humano, logo  $P_o$  não pode ser interpretado como a fração do campo visual ocupada pelas instalações.

Os *scripts* usam mapas *raster* em formato ASCII e produzem mapas de visibilidade no mesmo formato.

Este método encontra-se mais adaptado para utilização em instalações de larga escala, no entanto pode ser adaptado para projetos a nível regional com algum trabalho adicional, nomeadamente a recolha de opinião pública (Rodriguez *et al.* 2009).

## 2.2 - Parâmetros de aferição do impacto visual

Com a multiplicação das turbinas na paisagem começaram a levantar-se questões de aceitação social dos projetos de produção de energia eólica. Apesar de, numa fase inicial, a opinião pública ter sido negligenciada, os investigadores deram início ao estudo dos fatores que influenciavam a “resistência” à aceitação das turbinas.

Foram vários os autores que se debruçaram no assunto e diversos os parâmetros considerados, designadamente em relação não só à energia eólica mas também a outras formas de energia renovável (foram igualmente vistos alguns trabalhos sobre instalações industriais em geral, estando os parâmetros neles focados englobados nos aqui descritos).

Na Tabela 7 constam os parâmetros aferidos pelos autores consultados, em relação com as tecnologias de produção de energia a partir de fontes renováveis que os motivaram.

Tabela 7 – Parâmetros de aferição do impacto visual retirados da bibliografia.

Referência	Grelha de Detalhe	Parâmetro	Solar Térmica	Solar Fotovoltaica	Biomassa	Eólica
T. Sibille 2007 ; Tsoutsos 2009; J. Vissering 2011	Dimensão do projeto, e comparação com as dimensões da envolvente	Escala do Projeto	X	X		X
J. Vissering 2011	Distância entre os visualizadores do impacto e o projeto	Distância ao projeto	X	X	X	X
J. Vissering 2011	Perspetiva de visualização do projeto	Ângulo de Visão	X	X	X	X
Tsoutsos 2009; B. Oberholzer 2014	Número de pessoas que irá visualizar o projeto	Número de utilizadores	X	X	X	X
J. Vissering 2011	Duração do impacto causado, ex: breves momentos vs impacto constante	Duração do Impacto	X	X	X	X
J. Vissering 2011;	Impacto resultante da sinalização noturna das infraestruturas	Iluminação	X	X	X	X
J. Vissering 2011	Causado pela incidência da luz solar em determinados ângulos nas pás das turbinas	Shadow Flicker				X
B. Oberholzer 2014		Sensibilidade do meio	X	X	X	X
B. Oberholzer 2014	Capacidade que a envolvente tem de dissipar o impacto causado pela presença das infraestruturas	Capacidade de absorção Visual	X	X	X	X
B. Oberholzer 2014	Impacto causado devido á presença de maquinaria e construções de estaleiros provisórios	Construção	X	X	X	X
B. Oberholzer 2014 R. Chiabrandó	Presença de elementos de diversa natureza, que podem dissipar o impacto, ou agravar	Impacto Visual Cumulativo	X	X	X	X

## Capítulo 3

# Fundamentos teóricos

### Metodologia multicritério de apoio à decisão

Um processo de avaliação de um dado projeto é um problema complexo: são vários os fatores que têm de ser considerados, os interesses e opiniões dividem-se e é necessário que sejam estudados todos os aspetos relevantes no processo. Uma vez que não existirá nenhuma alternativa que englobe o melhor cenário para todos os fatores relevantes é necessário que sejam estudados quais os fatores que são deveras fundamentais no processo, a forma como em cada um as alternativas estão valorizadas e o peso que tem cada um deles no processo de avaliação global do projeto.

Segundo as Metodologias Multicritério de Apoio à Decisão com base na Teoria do Valor (Keeney, 1976) é possível representar matematicamente os valores do decisor através de uma fórmula, a função de valor (f.d.v.), que permite caracterizar analiticamente as preferências sobre as alternativas do problema de decisão. A representação matemática das preferências baseia-se na Teoria da Medida, segundo a qual medir é “atribuir números a objetos ou observações” (Beinat, 1997).

A utilização de modelos multicritério de apoio à decisão, além de auxiliar o decisor ou grupo de decisores, pode servir para apresentar a decisão ao público em geral. Uma vez que a avaliação por critérios é explícita e transparente, pode servir como justificação para a escolha de um determinado projeto em comparação com projetos alternativos.

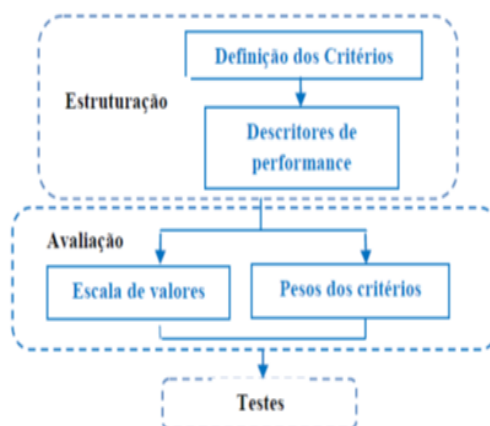


Figura 1 – Fases de implementação do método MCDA baseado na Teoria do Valor, por exemplo através do MACBETH (Bana e Costa, 2008)

Os métodos multicritério implicam a elaboração de um modelo de preferências. A metodologia aplica-se em três fases: **estruturação** onde são definidos os critérios e os descritores, **avaliação**, onde é feita a escala de valores e atribuição dos pesos de cada critério, e por fim a fase de **testes**, onde é verificada a sensibilidade e/ou a robustez dos resultados.

### Estruturação

Na estruturação, o primeiro passo é definir o contexto da decisão, identificando todos os intervenientes e condicionantes do processo (Bana e Costa, Antunes Ferreira). Caberá ao

facilitador estimular os atores intervenientes no processo para a reflexão, de forma a identificar todos os pontos de vista (PV), caracterizando-os e analisando o motivo da sua relevância.

O objetivo seguinte é chegar a uma definição consensual de todos os pontos de vista fundamentais (PVF) ao processo e à definição dos descritores de forma a caracterizar as preferências segundo estes pontos de vista, ou seja, a operacionalizá-los. Não faz sentido a avaliação por um ponto de vista que não possa ser operacionalizado, quantificado ou qualificado. Uma vez que se trata de um processo de avaliação de alternativas por comparação podem também ser definidos critérios de rejeição, pois é dispensável avaliar propostas que não cumpram os requisitos do projeto pretendido.

A escolha de critérios é efetuada por um grupo de especialistas, para que seja garantido que todos os aspetos relevantes ao processo de tomada de decisão são incluídos no processo de avaliação e não fica nenhum de parte. Para simplificar a elaboração do modelo de decisão, os critérios devem ser:

- Não ambíguos
- Exaustivos
- Não redundantes
- Operacionalizáveis
- Isoláveis ou independentes no sentido das preferências

A redundância de critérios resultaria num resultado pouco fiável uma vez que iria existir sobrevalorização de determinados critérios e subvalorização de outros. Caso exista dependência entre os critérios os mesmos não podem ser analisados de forma individual.

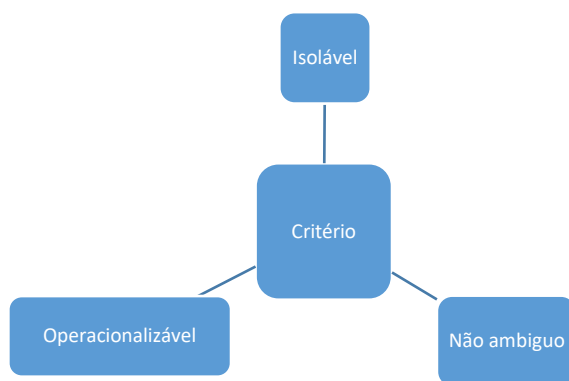


Figura 2 – Propriedades dos membros de uma família de critérios.

A discussão dos pontos de vista fundamentais e critérios é fundamental para uma correta avaliação do projeto em causa, e devem ser ajustados sempre que necessário, de forma a garantir uma maior credibilidade ao estudo. Existe iteratividade durante todo o processo de aplicação da metodologia.

## Descritores

Como referido, para cada critério a avaliar são contruídos descritores de impacto com base em indicadores ou sistemas de indicadores que permitam a operacionalização.

Um descritor é um conjunto ordenado constituído por níveis de impacto plausíveis, segundo um dado PVF, que mede (quantitativa ou qualitativamente) em que medida o PVF é satisfeito, descreve o mais objetivamente possível os impactos das opções no PVF, verifica a independência ordinal do PVF (Bana e Costa, et al., 2010). É necessário que os níveis sejam descritos minuciosamente para que sejam interpretados de forma clara e inequívoca.

Para cada descritor são definidos níveis mínimos e máximo de atratividade tendo em conta a gama de valores plausíveis que podem ser assumidos. Em lugar desses níveis mínimos e máximo podem também ser definidos níveis de referência designados, por exemplo, Neutro e Bom, correspondentes respetivamente a níveis nos descritores com valores que não sejam nem atrativos nem repulsivos e a valores que sejam francamente atrativos e deixariam o decisor plenamente satisfeito (Bana e Costa, 2000).

Tipos de descritores:

**Diretos** – São descritores que medem de forma direta os efeitos, como por exemplo o número de pessoas com doenças respiratórias (Bana e Costa e Beinat, 2010),

**Indiretos** – são descritores que apontam as causas, como por exemplo a quantidade de poluentes atmosféricos que causam doenças respiratórias (Bana e Costa e Beinat 2010),

**Construídos** – conjunto de níveis de referência definidos por um índice ou por uma combinação de vários indicadores integrados no critério ou subcritério. São utilizados descritores contruídos quando não é possível isolar os mesmos, ou seja estão relacionados de alguma forma e não faria sentido analisá-los individualmente pois comprometeria os resultados. Os descritores contruídos podem ser caracterizados pelo número de pontos de vista envolvidos, distinguindo-se descritores **unidimensionais** e **multidimensionais**, e pelo modo como os seus níveis de impacto são descritos (Bana e Costa e Beinat, 2010):

**Verbalmente** – os níveis de impacto são caracterizados verbalmente considerando todas as hipóteses de impactos plausíveis (escalas qualitativas)

**Numericamente** – os níveis de impactos são definidos através de fórmulas ou índices (escalas quantitativas)

**Pictóricos** – podem ser utilizados descritores pictóricos quando não é possível ou é difícil a utilização de descritores verbais ou numéricos, podem ser utilizadas fotografias, vídeos, desenhos, esboços, etc., o objetivo destas representações obter uma visão mais

realista dos impactos através da comparação das representações para vários cenários.

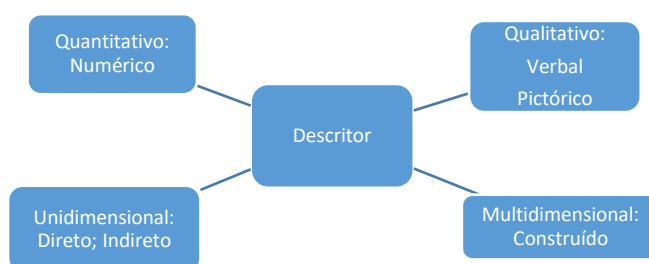


Figura 3 – Tipos de descritores.

Para caracterizar as preferências em cada critério constroem-se funções de valor. Para isso são comparadas, em cada critério, as diferenças de atratividade entre níveis de impacto de modo a constituir escalas que possam ser manipuladas algebricamente (escalas de valor cardinal). Aos níveis de referência são atribuídos valores fixos, que são normalmente 100 para o nível bom e 0 para o nível neutro.

Para realizar essa comparação, no método MACBETH os atores são convidados a classificar as diferenças entre a atratividade dos níveis dos descritores comparando diferenças de preferência correspondentes às transições entre os diferentes níveis do descritor, tendo em conta um conjunto de categorias ( $C_k$ ,  $k = 1, \dots, 6$ ), ajudando assim a contruir escalas de valor cardinais.

Estas categorias expressam-se da seguinte forma (Bana e Costa e Vansnick, 1997):

- (C1) muito fraca diferença de atratividade.
- (C2) fraca diferença de atratividade.
- (C3) moderada diferença de atratividade.
- (C4) forte diferença de atratividade.
- (C5) muito forte diferença de atratividade.
- (C6) extrema diferença de atratividade.

Cada categoria é representada quantitativamente por um intervalo de valores. Estes intervalos permitem ao MACBETH constituir as melhores funções de valor, sendo obtidas a partir de cada matriz de julgamentos, depois de se avaliar qualitativamente o descritor de impactos (Bana e Costa, et al., 2008).

O processo de avaliação é iniciado após a definição dos critérios e das escalas de valor assumidas por eles.

### **Agregação com critérios independentes**

As propostas apresentadas são avaliadas parcialmente critério a critério. Uma vez que os critérios não são equivalentes é necessário que seja estudado quão importante é cada um dos critérios para o processo de decisão. A determinação dos pesos é efetuada pelo grupo de atores que, numa fase inicial, ordenam os critérios em termos da sua atratividade e posteriormente são convidados a julgar qualitativamente os pares de critérios - à semelhança do que foi efetuada com a determinação dos níveis de impacto para cada descritor (Bana e Costa, et al., 2008). Estes julgamentos destinam-se a determinar as taxas de substituição

(pesos) entre critérios que são independentes no sentido das preferências, isto é, o quanto o decréscimo segundo um critério pode ser compensado pelo acréscimo noutro, considerando-se nesta comparação todos os pares.

Determinados os pesos pode-se analisar globalmente a proposta,  $p$ , agregando num única função de valor,  $V(p)$ , as funções de valor parcial,  $v_j(p)$ , que descrevem as preferências segundo cada critério  $j$ . Segundo o modelo aditivo de agregação, aplicável quando se confirma a independência no sentido das preferências entre todos os pares de critérios (pois neste caso os valores marginais podem ser identificados separadamente uns dos outros),

$$V(p) = \sum_{j=1}^n v_j(p) = \sum_{j=1}^n k_j v_j(p) \text{ com } \sum_{j=1}^n k_j = 1 \text{ e } k_j > 0 \text{ e } \begin{cases} v_j(bom_j) = 100 \\ v_j(neutro_j) = 0 \end{cases} \quad (19)$$

Os parâmetros  $k_j$  são os pesos dos critérios (Bana e Costa, et al., 2000). Note-se que são constantes e, neste modelo aditivo, exprimem quanto a perda num critério pode ser compensada pelo ganho noutro - pelo que também se designam por taxas de substituição. São pois fatores de harmonização das escalas de valor parcial  $v_j$ ,  $j=1,...,n$  e refletem, tendo em conta a amplitude de cada uma dessas escalas, a importância dos correspondentes critérios (Bana e Costa, et al., 2008).

### **Agregação com critérios condicionalmente independentes**

Quando não se confirma a independência no sentido das preferências, isto é, quando a diferença de preferência entre dois níveis de impacto num qualquer critério é afetada pelo nível de impacto segundo outro critério (condicionalmente independentes no sentido das preferências), a função de valor sintetizadora não pode ser calculada aditivamente, devendo a função de valor global ser aferida ponto a ponto (Beinat, 1997).

Numa situação intermédia pode dar-se o caso de um critério  $c_0$  ser preferencialmente independente dos restantes mas um destes,  $c_1$ , ser preferencialmente dependente de  $c_0$ . Neste caso  $c_0$  pode ser avaliado separadamente de  $c_1$ , mas o inverso não é verdade (Keeney, 1976).

Avaliar  $c_0$  separadamente de  $c_1$  significa, neste contexto, construir um descritor ou uma função de valor para  $c_0$  da forma acima descrita.

Avaliar  $c_1$  obriga a ter em conta o nível de desempenho segundo  $c_0$ . Com efeito, nesta situação a taxa de substituição entre  $c_1$  e  $c_0$ , isto é, a variação no desempenho segundo  $c_1$  (em unidades de  $c_1$ ),  $\Delta p_1$ , que compensa o aumento ou redução do desempenho no outro critério,  $\Delta p_0$ , depende do valor que tem para o decisor/especialista o correspondente nível de desempenho segundo  $c_0$ ,  $v(p_0)$  (Bana e Costa, 2012) (Keeney, 1976).

Considera-se que, localmente, essa dependência assume a forma de uma proporção entre a variação “independente” (que existiria se não se tivesse em conta  $c_0$ ),  $\Delta p_1^i$ , e a variação ajustada (tendo em conta  $c_0$ ),  $\Delta p_1^a$ , cuja constante de proporcionalidade é o valor  $v(p_0)$ :

$$\Delta p_1^a / \Delta p_1^i = v(p_0) \quad (20)$$

No limite,

$$p_1^a = p_1^i \cdot v(p_0) \quad (21)$$

Por exemplo, se  $c_0$  e  $c_1$  forem os únicos critérios subordinados a determinado ponto de vista (como um critério de nível hierárquico superior), então pode-se considerar que o desempenho de uma alternativa segundo esse ponto de vista é igual ao desempenho segundo  $c_1$  multiplicado pelo valor associado ao desempenho segundo  $c_0$  (Bana e Costa, 2012).

Note-se que, para esta abordagem ser metodologicamente correta, o valor para o decisor do desempenho segundo  $c_0$  deverá ser aferido de forma a constituir-se, pelo menos, uma escala de intervalos, ou seja, através da comparação das diferenças entre os desempenhos possíveis, dando-lhes significado.

Na agregação o critério  $c_0$  deixa de ser considerado parcela, exercendo a sua influência através de  $c_1$ . Deste modo (mudança de variável  $p_1^i \rightarrow p_1^a$ ) mantém-se a possibilidade de utilizar a regra de agregação aditiva. A função de valor global,  $V(p)$ , é então

$$V(p) = v(p_1) + v(p_r), \text{ com } v(p_r) = \sum_{j=2}^n v_j(p) \quad (22)$$

Em que  $v_j(p)$  é o valor da alternativa segundo os restantes critérios, assumindo-os preferencialmente independentes entre si. Esta situação é discutida em (Keeney, 1976).

Os resultados obtidos são submetidos a análise de sensibilidade e robustez.



## Capítulo 4

# Construção do modelo de avaliação

### 4.1 - Metodologia seguida neste trabalho

Como o objetivo é construir um modelo de classificação em que o desempenho das alternativas segundo os vários critérios seja convertido em unidades de uma grandeza conceptualmente comum de valor, considera-se:

- Alternativa  $\Leftrightarrow$  parque eólico – cada parque eólico desempenhará o papel de uma alternativa a classificar;
- Valor  $\Leftrightarrow$  impacto visual – quanto maior o “valor de preferência” maior o impacto visual.
- 

Considera-se que o desempenho em impacto visual total de um parque eólico (impacto visual global) seja igual à soma dos valores de impacto visual em cada célula na qual o parque eólico é visível (impacto visual local). Sobre os valores globais possíveis será definida uma escala que ajude a ancorar essa medida quantitativa de impacto visual total.

Isto corresponde a aplicar um modelo aditivo pois considera-se que, no cômputo global do impacto visual do parque eólico, um impacto menor numa célula pode ser compensado por um impacto maior noutra. Considera-se a apreciação desses impactos independente dos valores que assumem.

Os pontos de vista, ou parâmetros, com influência no impacto visual são identificados e relacionados mediante revisão da literatura e entrevista a especialistas. Procura-se inicialmente identificar o maior número possível de parâmetros, de modo a obter-se uma visão tão alargada quanto possível das condicionantes do problema em estudo. Os pontos de vista são então organizados recorrendo a mapas cognitivos e árvores de valor. Finalmente são escolhidos, entre os pontos de vista da árvore de valor final, uma família de critérios que respeite as propriedades referidas em 3.1: exaustiva, concisa, não-redundante e, tanto quanto possível, com critérios preferencialmente independentes (Keeney, 1992).

Tratando-se o impacto visual de um problema de percepção humana bastante complexo, é de esperar que nem todos os pontos de vista sejam preferencialmente independentes. Assim sendo, esse tipo de independência é verificada entre todos os pares de critérios.

Nos casos em que não se verifica, tais situações são modeladas por algum dos seguintes dois métodos:

- I) Rearranjo dos vários pontos de vista não independentes de modo a considerar-se, em vez deles, um único ponto de vista conceptualmente mais alargado que os substitua na caracterização dos impactos possíveis das alternativas (neste caso há o desenvolvimento de um descritor construído que operacionalize os critérios não independentes);
- II) Nível hierárquico não aditivo, em que a relação aditiva é substituída por uma relação multiplicativa (Bana e Costa, 2011; Keeney, 1976) do tipo  $p_1^a = p_1^i \cdot v(p_0)$ .

Quando se pretende constituir um modelo aberto, na operacionalização dos critérios definem-se descritores com níveis de referência, por exemplo designados Neutro e Bom.

A constituição inicial de descritores é realizada com base nos conhecimentos adquiridos através da revisão de literatura e em entrevistas com especialistas.

São também os especialistas que, devidamente interrogados através do método MACBETH, atribuem valores de preferência ao desempenho, de modo a obterem-se funções de valor ou a quantificação de descritores qualitativos.

São ainda os especialistas que comparam transições entre níveis Neutro e Bom de alternativas fictícias, para identificar:

- Coeficientes de ponderação dos critérios envolvidos nos modelos aditivos;
- Pontos de equilíbrio nos modelos multiplicativos.

Quando há discordância o tema é debatido até ao consenso, ou utiliza-se a média dos valores propostos pelos especialistas.

Neste projeto recorre-se ao *software* M-MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) para identificar funções de valor e escalas cardinais nos descritores, assim como para agregar aditivamente nos níveis hierárquicos em que há critérios preferencialmente independentes.

## **4.2 - Pontos de vista relevantes e critérios de avaliação**

De acordo com a revisão de literatura e conversas com especialistas elaborou-se um mapa cognitivo de pontos de vista com o qual se formou uma árvore de valor que mostra como se estes se podem organizar por níveis hierárquicos.

Atendendo à complexidade de um problema como este, que envolve um elevado número de pontos de vista bastante inter-relacionados, e à necessidade de elaborar um modelo hierárquico que elimine redundâncias, procuraram-se pontos de vista tanto quanto possível independentes e refletiu-se, concisa e adequadamente, a estrutura dos pontos de vista relevantes. A árvore foi primeiro estruturada e depois apresentada aos especialistas para que sobre ela tecessem comentários, tendo ficado sujeita às alterações necessárias.

Além disso os pontos de vista foram selecionados tendo em conta o objetivo de permitir posteriormente uma avaliação autónoma pelo sistema de informação geográfica. Note-se que o grau de introspeção necessário à elaboração de uma árvore destas seria difícil de atingir exclusivamente em entrevistas únicas aos especialistas.

A Figura 4 mostra a estrutura adotada.

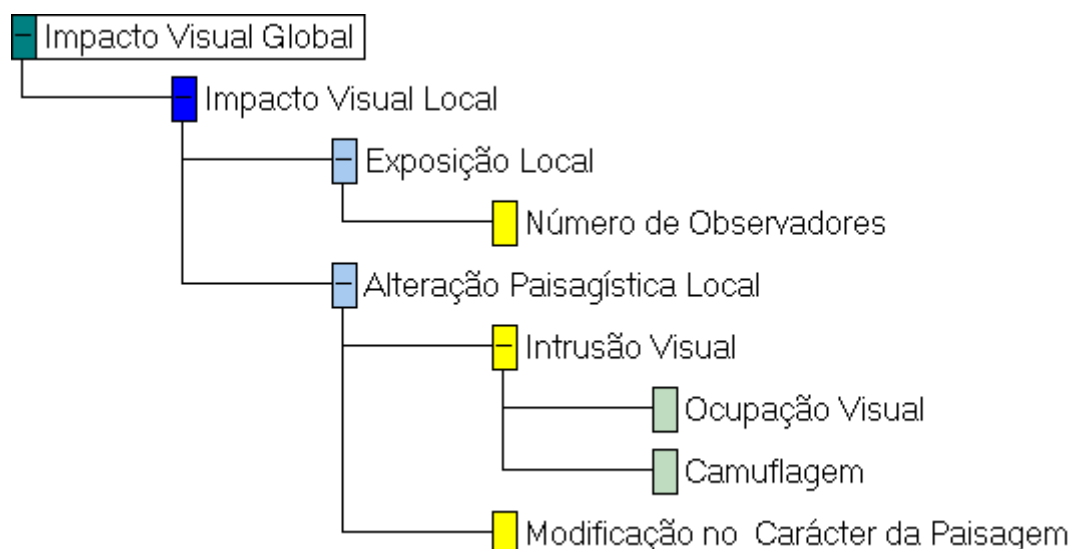


Figura 4 – Árvore de valor para impacto visual de um parque eólico.

Ao nível mais elevado reconhece-se, na árvore de valor da Figura 4, que o **Impacto visual global** do parque eólico é obtido a partir dos valores de **Impacto visual local** determinados em cada um dos pixéis situados dentro da área de visualização. Saliente-se que o termo local se refere à célula dos ficheiros utilizados pelos sistemas de informação geográfica (SIG).

Também a um nível elevado na árvore de valor reconhece-se que o impacto visual em cada célula é influenciado pela **Alteração Paisagística Local** em conjunto com a **Exposição local**. Ambos contribuem para o **Impacto Visual Local**.

Com cada um destes dois pontos de vista principais estão relacionados vários pontos de vista relevantes para o problema. Com a **Exposição local** relaciona-se o **Número de observadores**. Com a **Alteração paisagística local** relacionam-se **Modificação no carácter da paisagem** e a **Intrusão visual**, esta última aglutinando **Ocupação visual** e **Camuflagem**.

Consideram-se como critérios de avaliação principais os pontos de vista **Alteração paisagística local** e **Exposição local**. Na **Alteração paisagística local** consideram-se como subcritérios os pontos de vista **Intrusão visual** e **Modificação no carácter da paisagem**.

### 4.3 - Dependência entre pontos de vista

Aferir a (in)dependência entre pontos de vista no sentido das preferências exigiria aos decisores detalhadas comparações entre diferenças de impactos visuais causados por diversas situações fictícias, ou seja, um trabalho demorado, fastidioso e difícil de encaixar na única reunião de que é possível dispor com cada um dos especialistas.

Com efeito, só para aferir de forma metodologicamente correta a independência preferencial entre dois critérios, por exemplo, **Camuflagem** e **Ocupação Visual**, seria necessário colocar aos especialistas, pelo menos, as seguintes questões:

**1ª Questão:** Como classificaria o impacto causado por um parque eólico rodeado por neve (elevada camuflagem) e longínquo, em comparação com o impacto visual desse mesmo parque numa situação sem neve?

Resposta: uma das seguintes categorias - muito fraco, fraco, moderado, forte, muito forte, extremo.

**2ª Questão:** Como classificaria o impacto causado por um parque eólico visto contra um fundo azul (baixa camuflagem) e longínquo, em comparação com o impacto visual desse mesmo parque se estivesse localizado nas proximidades?

Resposta: uma das seguintes categorias - muito fraco, fraco, moderado, forte, muito forte, extremo.

**3ª Questão:** Como classificaria o impacto causado por um parque eólico rodeado por neve (elevada camuflagem) e próximo, em comparação com o impacto visual desse mesmo parque rodeado por neve mas longínquo?

Resposta: uma das seguintes categorias - muito fraco, fraco, moderado, forte, muito forte, extremo.

**4ª Questão:** Como classificaria o impacto causado por um parque eólico rodeado por neve (elevada camuflagem) e próximo, em comparação com o impacto visual desse mesmo parque próximo e atrás do qual se veja a penas céu azul?

Resposta: uma das seguintes categorias - muito fraco, fraco, moderado, forte, muito forte, extremo.

Por este motivo, com base na informação recolhida sobre os diversos pontos de vista, realizou-se de início este trabalho de introspeção (e discussão em entrevista) e chegou-se às conclusões seguidamente descritas, que se assumem válidas para este trabalho.

- **Distância, número de turbinas, orientação relativa**

Considera-se que o grau de ocupação visual causada por qualquer um destes parâmetros depende dos valores assumidos pelos outros dois. Para um observador colocado num pixel, a ocupação visual causada por um certo número de turbinas depende da distância a que estas se encontram e da sua orientação em relação a esse pixel. A ocupação visual causada por uma certa orientação preferencial na disposição de um conjunto de turbinas depende do número destas e da distância a que se encontram. A ocupação visual causada por turbinas a uma certa distância depende do número destas e também da orientação preferencial da sua disposição em relação ao pixel.

- **Camuflagem climatérica, camuflagem orográfica**

A aferição da influência no impacto visual da camuflagem devido à parte orográfica é independente da aferição da mesma no que respeita à camuflagem climatérica mas o inverso não é verdade pois depende da combinação dos níveis de cada uma que estão em causa. Como por exemplo, analisando os 2 seguintes cenários de orografia e variando a camuflagem climatérica,

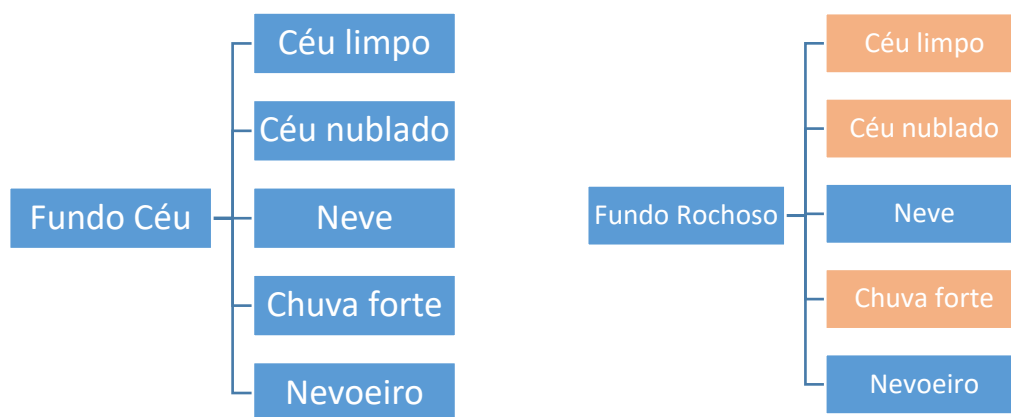


Figura 5 – Exemplo de níveis de desempenho do descritor camuflagem

A camuflagem climatérica não pode ser aferida independentemente da orografia. Por exemplo, analisando a Figura 5, onde estão representados os níveis de impacto possíveis nos dois descritores, verifica-se que nos casos em que o fundo é rochoso apenas interessa a existência de neve ou nevoeiro.

- **Camuflagem, ocupação visual**

Considera-se que a aferição do efeito da camuflagem é independente do valor da ocupação visual - embora seja discutível pois poder-se-ia pensar que a camuflagem é tanto mais eficaz quanto menor o valor da ocupação visual.

O impacto devido à ocupação visual pode ser atenuado pela camuflagem, pelo que o desempenho segundo a primeira vista considera-se dependente do desempenho segundo a segunda.

- **Modificação no caráter da paisagem**

Uma paisagem é definida pelos elementos nela contidos, que a caracterizam. Podendo as paisagens ser naturais (originadas pela natureza, sem interferência da mão do Homem, vegetação, formações geológicas) ou humanizadas (paisagens onde houve intervenção humana, habitações, estradas, monumentos, entre outros).

Uma das características de uma paisagem é a capacidade de absorção visual (CAV), esta mede a capacidade que a paisagem tem dissipar a introdução de um novo elemento sem perder a sua identidade e/ou qualidade (Amir and Gidalizon, 1990). Quando mais forte for a CAV de uma paisagem menor será a modificação no carácter da mesma.

- **Modificação no caráter da paisagem (MCP), Intrusão visual (IV)**

Considera-se que o impacto causado pela IV depende preferencialmente da MCP, pois esta pode ter um efeito atenuador ou agravante da IV.

Por sua vez assume-se que a aferição da influência da MCP, tal como definida, pode ser realizada independentemente do nível de IV – no entanto reconhece-se que é uma hipótese

reduzida pois há combinações que mereceriam uma avaliação particular; mantém-se pois permite modelar minimamente uma grande variedade de situações.

- **Alteração paisagística local (APL), Exposição local (EL)**

Admite-se que a contribuição da Exposição para o Impacto visual pode ser aferida independentemente do grau de Alteração paisagística (apenas tendo em conta considerações relacionadas com a relevância de diferentes quantidades de observadores).

Admite-se também que a contribuição para o impacto da Alteração paisagística local pode ser aferida independentemente do grau de Exposição local (a alteração paisagística que ocorre quando o parque é observado a partir de determinada célula não se altera com o número de observadores nela colocados).

#### **4.4 – Operacionalização dos critérios e subcritérios**

##### **4.4.1 - Exposição local**

Em cada célula existe um certo **número de observadores (NO<sub>i</sub>)**. Opta-se por considerar que os valores de NO<sub>i</sub> correspondem a número de pessoas que observam o parque eólico num instante (exposição local “instantânea”).

Deste número de observadores assume-se que apenas 50% observa o parque eólico, estando os restantes distraídos do mesmo.

Nos locais públicos utilizam-se para NO<sub>i</sub> estimativas de ocupação e de densidade populacional. No caso da densidade populacional a informação utilizada provém da tabela 8.

Tabela 8 – Classificação do espaço com base em índices urbanísticos brutos

Densidade	d. Pop (hab/ha)
Rural baixa	<0,16
Rural média	[0,16 - 0,64[
Rural alta	[0,64 - 2,50[
Para-urbana	[2,50 - 10,00[
Urbana baixa	[10,00 - 40,00[
Urbana média	[40,00 - 160,00[
Urbana alta	>160

Nas células ocupadas por estrada ou autoestrada considera-se que o número de ocupantes NO<sub>i</sub> seja igual.

Nas estradas e autoestradas a estimativa é feita em função do número de utentes das autoestradas existentes na bacia de visualização do parque eólico (os Sistemas de Informação Geográfica permitem determinar na bacia de visualização do parque o comprimento do troço da autoestrada sujeito ao impacto) que se expõe em seguida.

Através do relatório de tráfego das autoestradas tem-se acesso ao número de veículos a circular em cada troço de autoestrada. Sendo médias diárias mensais, devem ser ligeiramente ajustadas para exprimir que o impacto causado é quase nulo no período noturno,

logo deve ser estimado um valor plausível para a percentagem média de veículos a circular em período diurno, com determinada ocupação média dos veículos. Por exemplo, assumindo uma ocupação média de 2 pessoas por veículo, 80% dos utentes circulam em período diurno a uma velocidade média de 100km/h.

A duração da exposição depende da distância percorrida no troço que se encontra exposto ao parque e da orientação do parque, mas considera-se um valor “instantâneo”, ou seja, correspondente a um intervalo de tempo relativamente curto mas no qual faça sentido admitir uma certa ocupação. Nesse caso o comprimento do troço de onde é visível o parque eólico deveria ser determinado, por exemplo, em ArcGIS, aplicando a função *viewshed*.

Por forma a contemplar no indicador  $EL_i$  os utentes das Aes, o número de observadores nas autoestradas é determinado da seguinte forma

$$NO_{AE} = N^{\circ} \text{ Veículos} \times N^{\circ} \text{ Ocupantes} \times P \quad (23)$$

P – percentagem de veículos a transitar no instante considerado.

	Nome	Nome abreviado
1	<2,50 Hab/ha	ZRural
2	[2,50 ; 10[ Hab/ha	ZPara-urbana
3	[10 ; 40[ Hab/ha	ZUrb Baixa
4	[40 ; 160[ Hab/ha	ZUrb Média
5	>160 Hab/ha	ZUrb Alta

Figura 6 – Níveis do descritor para Número de observadores nas células, em função do tipo de zona (interface do programa MACBETH).

Os especialistas são questionados, seguindo o método MACBETH, de modo a exprimirem, numa escala de razões, valores de preferência para diversos níveis de desempenho em termos de  $EL_i$ , até se obter uma função de valor  $V(EL_i)$  que operacionalize este critério. Os julgamentos expressos pelos especialistas indicam-se na Figura 8, que mostra a interface do programa em que essa informação foi introduzida, assim como a escala de valor resultante na Figura 9.

	Nível qualitativo	Abreviado
1	>160 Hab/ha	niv5
2	[40 ; 160[ Hab/ha	niv4
3	[10 ; 40[ Hab/ha	niv3
4	[2,50 ; 10[ Hab/ha	niv2
5	<2,50 Hab/ha	niv1

Figura 7 – Níveis qualitativos do indicador Exposição Local.

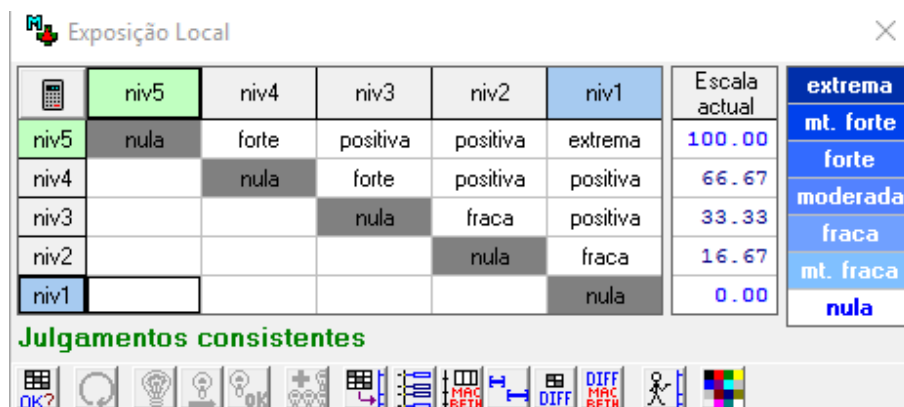


Figura 8 – Matriz de julgamentos do indicador Exposição Local.

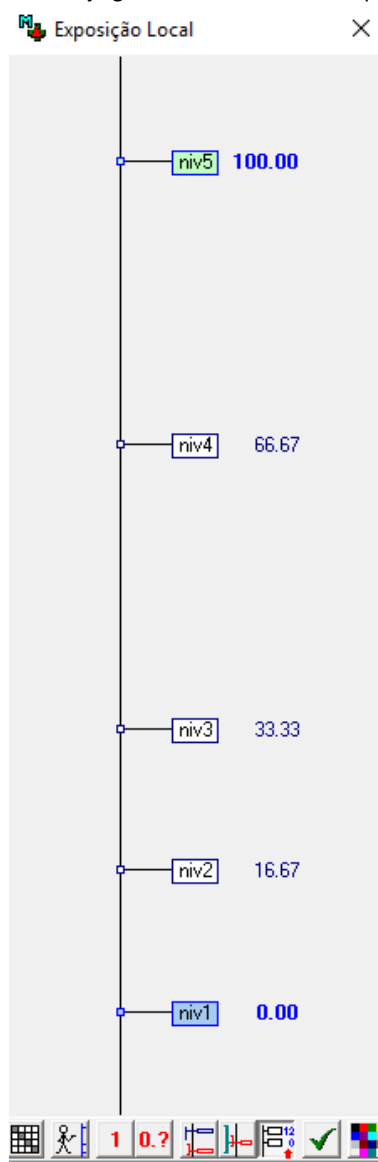


Figura 9 – Escala de valor do descritor para Exposição Local.



#### 4.4.2 - Intrusão visual

O desempenho das alternativas em termos da intrusão visual é aferido pela ocupação do campo de visão do observador, isto é, a Ocupação visual,  $OV_i$ , ajustada à influência da Camuflagem,  $C_i$ , que poderá existir quando este olha para o parque eólico a partir de determinado local (correspondente, em GIS, a uma célula).

Como se admite que a **Camuflagem** tem com a **Ocupação visual** uma relação de dependência condicional, no sentido das preferências, considera-se que o desempenho em Intrusão visual será adequadamente obtido através de um modelo multiplicativo. Com efeito, na aferição de Intrusão visual é necessário ter em conta tanto a Ocupação visual como a Camuflagem, mas deve-se ter em conta que, enquanto se pode ter determinada Ocupação visual sem camuflagem, o contrário não é verdade, pois é impossível exercer camuflagem sobre algo que não se associe a alguma ocupação visual. A relação multiplicativa descrita no Capítulo 3 é assim adequada, visto a taxa de substituição entre Camuflagem e Ocupação visual variar com o nível de camuflagem, mas não com o de ocupação visual. O tratamento formal desse ajuste resulta pois num fator de correção.

Assim, o fator de camuflagem associa-se ao desempenho em Ocupação visual através de uma relação multiplicativa (Bana e Costa, 2012), produzindo-se um indicador de desempenho para **Intrusão visual** no pixel:




$$IV_i = OV_i \cdot V(C_i) \quad (24)$$




Para facilitar a aferição admite-se que, na célula  $i$ , o desempenho segundo  $IV_i$  tem comportamento aproximado ao desempenho segundo  $OV_i$ , corrigido com o fator de camuflagem  $V(C_i)$ . Assume-se ainda que a função de valor  $V(IV_i)$  terá também forma análoga à de  $V(OV_i)$ , pelo que se passa a determinar esta.

Apresentando casos concretos (nomeadamente recorrendo às fotografias de uma turbina observada a diversas distâncias) correspondentes a situações típicas de diversas gradações de ocupação visual, e através do método MACBETH, questionaram-se os especialistas de modo a modelar a preferência, em termos de impacto visual, associada aos diferentes desempenhos de intrusão visual,  $IV_i$ , isto é, aferiu-se  $V(IV_i)$ . Os valores resultantes desse questionar apresentam-se na Tabela 9.

A função de valor resultante corresponde a considerar que o aumento de impacto visual com o aumento no número de observadores é aproximadamente linear, mas superior (função com maior declive) quando há maior densidade populacional.

Tabela 9 – Níveis do descritor Ocupação visual. Fotografias tiradas presencialmente a diversas distâncias de uma turbina.

Dist. (m)	OV <sub>i</sub> (%)	Fotografia	v (OV <sub>i</sub> )
20	>32%		100
500	31,90		100
2000	7,97		69,23

<b>3000</b>	5,32		48,82
<b>12000</b>	1,33		12,6
<b>30000</b>	0,53		0

Os valores de ocupação visual indicados na Tabela 9,  $OV_i$ , foram determinados da forma que se descreve na secção 4.4.3.1.



Figura 10 – Matriz de julgamentos do descritor Intrusão Visual.

As comparações realizadas e indicadas na Tabela da Figura 10 resultaram na função de valor exposta na Figura 11, a qual traduz que, a maiores níveis de ocupação visual, a redução no impacto visual com a diminuição da ocupação visual é menor do que quando há menores distâncias (mas superior ao que a curva de desempenho indicaria). Quando há menores níveis de ocupação visual ocorre o inverso, isto é, a redução no impacto visual com a diminuição da ocupação visual é maior do que quando estão em causa maiores distâncias (mas superior ao que a curva de desempenho indicaria). Em níveis intermédios de ocupação visual a redução no impacto visual com a diminuição da ocupação visual é menos acentuada do que a variação de desempenho sugeriria.

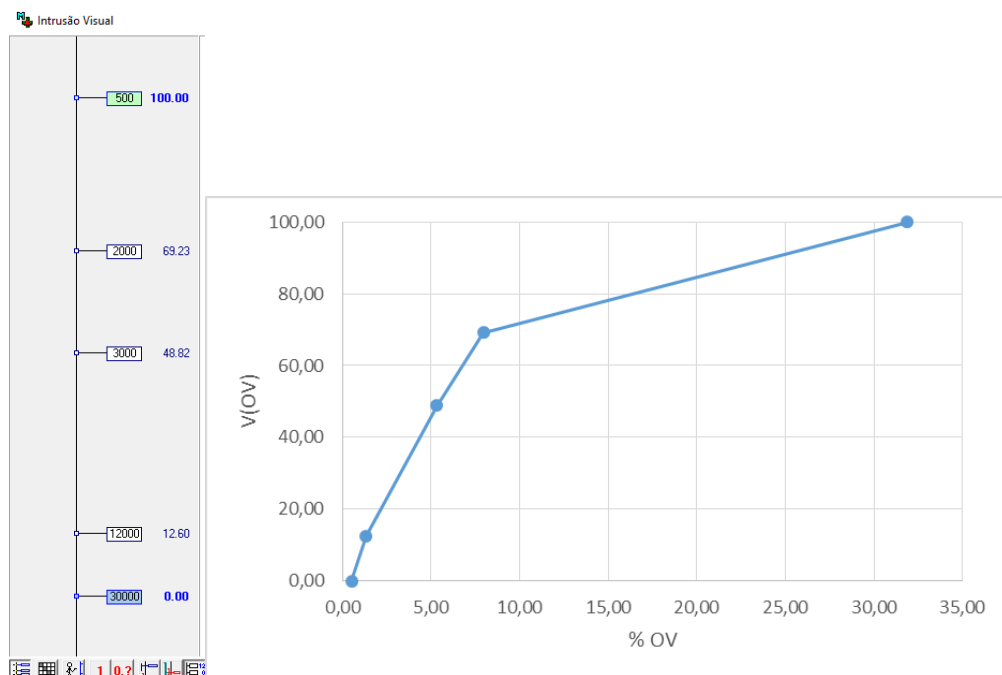


Figura 11 – Função de valor que relaciona a ocupação visual calculada na célula  $i$ ,  $OV_i$ , com a correspondente intensidade de preferência,  $V(OV_i)$ .

#### 4.4.3.1 – Ocupação visual

Considera-se neste trabalho que a ocupação visual de um parque eólico é medida pela percentagem do campo de visão humano ocupado pelas turbinas do parque.

Sendo distância, número de turbinas e orientação relativa preferencialmente dependentes, optou-se por operacionalizar a influência dos três parâmetros simultaneamente recorrendo a um indicador que os relaciona e que transmite a noção de ocupação visual, na célula i, que se pretende aferir. O desempenho segundo este ponto de vista é quantificado pela percentagem do campo visual ocupada pelas turbinas que constituem o parque eólico.

Um dos fatores de maior impacto visual da instalação de parques eólicos é a dimensão que estas estruturas ocupam no campo de visualização dos observadores. Por forma a conseguir determinar o grau de impacto que a mesma tem deve ser quantificada a percentagem de campo de visão ocupado pelas estruturas em cada ponto. Essa percentagem pode ser determinada através do quociente entre o ângulo sólido ocupado pela turbina e o ângulo sólido do campo de visão humano, ou do quociente entre a área da turbina sobre a área de visualização.

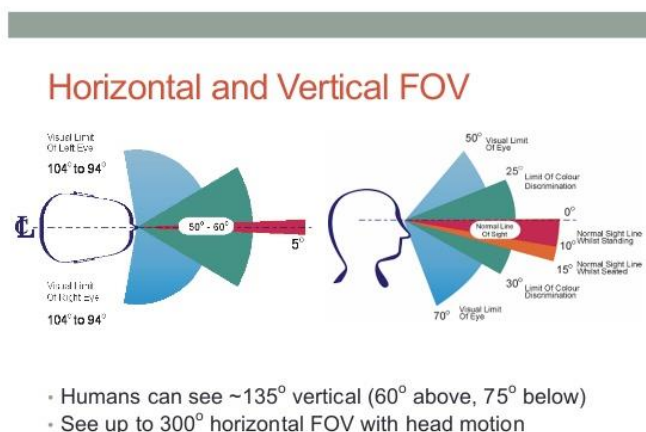


Figura 12 – Campo de Visão Humana (Human field of view, FOV)

O Homem vê horizontalmente 60° e na vertical cerca de 25° acima do nível do olhar e 30° abaixo.

Para o trabalho realizado foi considerada como área do campo de visão a faixa a verde na figura 13, uma vez que o impacto causado pela instalação das turbinas dá-se ao nível da linha do horizonte, pode-se considerar o retângulo com as seguintes dimensões, Altura máxima igual ao dobro da altura da torre e de comprimento dado pelo limite do campo de visão horizontal (30° para cada lado).

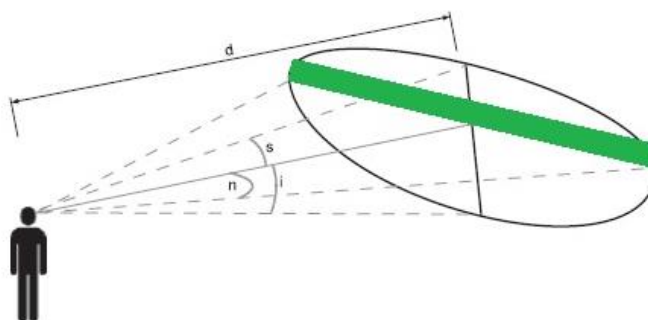


Figura 13 – Campo de visão do estudo

Para calcular a ocupação visual devida às turbinas no campo de visão, a área do campo de visão é dada pela seguinte fórmula:

$$A_{CV} = 2 \times Raio \times H_{TMax} \quad (25)$$

Onde,

$$H_{TMax} = 2 \times H_T \quad (26)$$

$$Raio = d \tan n \quad (27)$$

$d$  – distância entre o observador e a turbina eólica

$n$  – ângulo do campo de visão horizontal ( $30^\circ$ )

$H_T$  – altura da turbina

Exemplo para 1 Turbina Enercon E82

Potência nominal – 2 MW

Diâmetro do rotor – 82m (raio  $r$ )

Altura da torre -108m ( $H_T$ )

Diâmetro da torre – 6m ( $D$ )

Cálculo da área de visual ocupada por uma turbina:

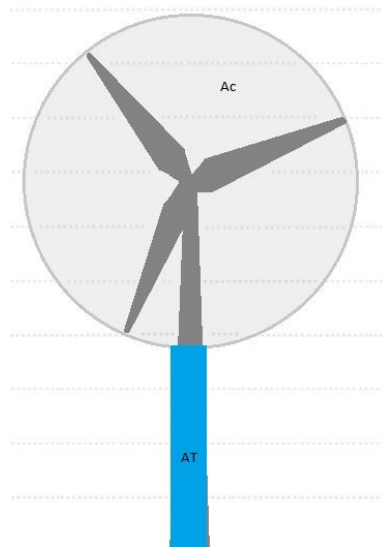


Figura 14 – área ocupada pela turbina

Cálculo da área de rotação das pás:

$$\begin{aligned} A_C &= \pi r^2 \\ A_C &= \pi (41)^2 \\ A_C &= 5281,02 m^2 \end{aligned} \quad (28)$$

Cálculo da área da base da turbina:

$$A_T = (H_T - r) * D \quad (29)$$

$$A_T = (108 - 41) * 6$$

$$A_T = 402 \text{ m}^2$$

Cálculo da área total ocupada pela turbina

$$A_{Total} = A_c + A_T \quad (30)$$

$$A_{Total} = 5281,02 + 402 = 5683,02 \text{ m}^2$$

Determinação da ocupação visual de um parque eólico constituído por 7 Turbinas

Tabela 10 – Ocupação visual de um parque eólico com 7 turbinas em função da distância. Avis  
– área dos limites do campo de visão.

Distância (m)	A <sub>cv</sub> em m <sup>2</sup>	Ocupação Visual em %
500	124707,7	31,90
1 000	249415,3	15,95
2 000	498830,6	7,97
3 000	748245,9	5,32
5 000	1247076,6	3,19
7 000	1745907,2	2,28
8 000	1995322,5	1,99
10 000	2494153,2	1,59
12 000	2992983,8	1,33
20 000	4988306,3	0,80
30 000	7482459,5	0,53

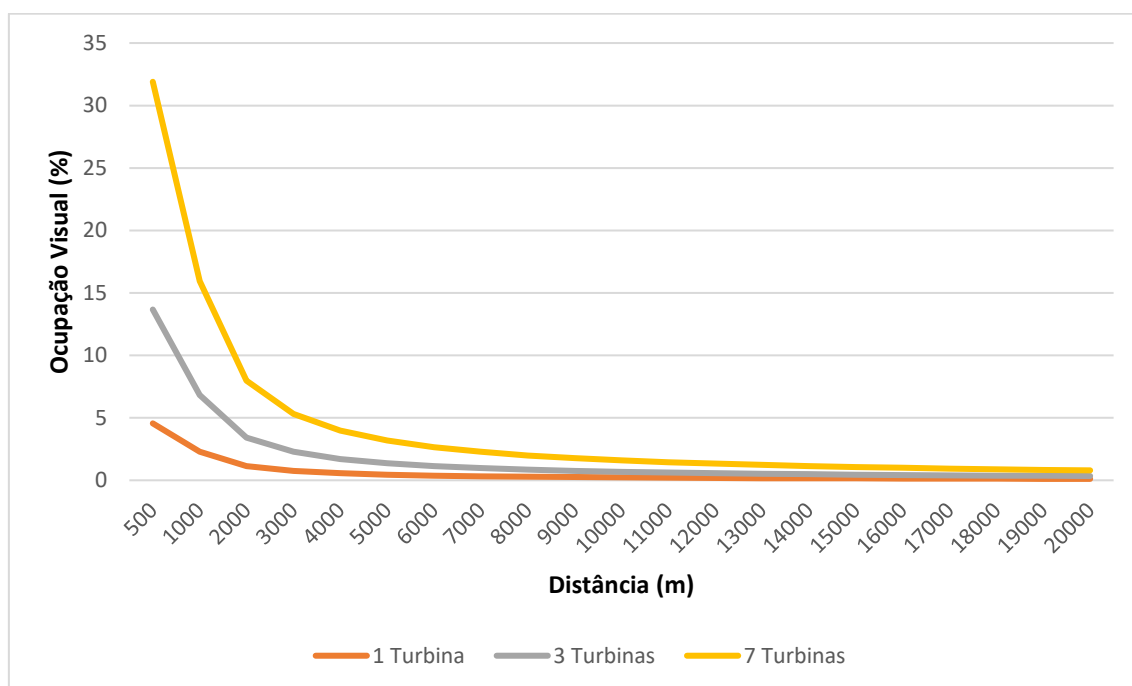


Figura 15 – Ocupação visual num ponto devida a um parque com 1, 3 ou 7 turbinas, localizado a diferentes distâncias.






#### 4.4.3.2 – Camuflagem

São definidas várias situações em que pode ocorrer camuflagem orográfica, conforme o tipo de relevo ou de ocupação do solo que existe atrás do parque eólico quando visto do pixel.





Sendo os parâmetros de camuflagem climatérica e orográfica preferencialmente dependentes a operacionalização do subcritério camuflagem exige um descritor adequadamente construído, pelo que se propõe o indicador composto, a que correspondem os valores de preferência, em escala de razões,  $V(C_i)$ .

Para este descritor foi utilizado um indicador construído, com base nos vários níveis de desempenho possíveis segundo cada um dos subcritérios (Bana e Costa e Beinat, 2010)

Tabela 11 – Níveis do descritor camuflagem

Fundo	Clima	Fotografia	V
Céu	Céu limpo		1
Vegetação	Céu limpo		0,80
Céu	Céu nublado		0,65



<b>Céu</b>	<b>Chuva forte</b>		<b>0,50</b>
<b>Vegetação</b>	<b>Céu nublado</b> <b>Chuva forte</b>		<b>0,40</b>
<b>Céu</b> <b>Floresta/ Montanha</b> <b>Fundo</b> <b>Rochoso</b> <b>Vegetação</b>	<b>Neve</b>		<b>0,30</b>
<b>Céu</b> <b>Vegetação</b> <b>Floresta/ Montanha</b> <b>Fundo</b> <b>Rochoso</b>	<b>Nevoeiro</b>		<b>0,25</b>

Na fase de construção dos níveis do descritor camuflagem foram retirados os níveis em que não faria sentido a análise deste indicador, como por exemplo o efeito do céu limpo ou nublado num parque instalado em frente a um fundo rochoso.

Note-se que os valores de V(Ci) exprimem o efeito exclusivamente atenuador da camuflagem na ocupação visual. Estes valores foram aferidos de modo a constituírem uma

escala de razões e indicam que a presença de nevoeiro reduz a visibilidade atenuando o impacto para  $\frac{1}{4}$  do impacto no caso do fundo ser céu limpo, ou que a presença da neve, independentemente do fundo atenua sensivelmente o dobro do impacto visual no caso do céu nublado num parque instalado numa planície.

#### 4.4.4 - Modificação no carácter da paisagem

Para a definição dos níveis do descritor Modificação no Carácter da Paisagem, foram colocadas algumas questões ao especialista na matéria (Prof. Leonel Fadigas, área da arquitetura paisagista). Numa fase inicial o especialista foi convidado a descrever com algum detalhe os tipos de paisagem possíveis. Os níveis identificados encontram-se representados na Tabela 12, tendo-se procurado que sejam inequívocos e contemplem cenários marcantes que permitam descrever a generalidade das situações possíveis.

Para avaliar o desempenho do parque eólico em termos da modificação do carácter da paisagem observada por um observador localizado no pixel  $i$  ( $MCP_i$ ), considera-se que esta ocorre quando há, pelo menos, alguma das situações incluídas na Tabela 12. Atribui-se ao parque eólico o desempenho associado à sua coexistência com alguma das situações listadas na Tabela 12. Em caso de várias, escolhe-se atribuir a que tiver maior impacto visual. Trata-se de uma abordagem redutora uma vez que estão a ser ignoradas situações em que vários destes efeitos se conjugam para amplificar ou atenuar o efeito de apenas um.

	Nível qualitativo	Abreviado
1	Paisagem elevada beleza cénica	P elevada beleza
2	Paisagem rural com elementos patrimoniais isolados	P elementos patrimon
3	Paisagem com poucos elementos urbanos	P Poucos el. urbanos
4	Paisagem urbanizada	P Urbanizada
5	Paisagem muito industrializada	P Industrializada

Figura 16 – Níveis qualitativos do indicador Modificação no Carácter da Paisagem (interface MACBETH).

Após a definição dos níveis possíveis, foi solicitado ao entrevistado, a ordenação dos níveis do cenário onde seria mais gravoso a instalação de um parque eólico para o cenário onde causaria menos impacto. Definidos e ordenados os níveis passou-se para a fase seguinte, a avaliação de desempenho dos vários níveis. Foi mostrado ao especialista com recurso ao M-MACBETH a escala criada e foi pedido que indicasse o grau de preferência entre transições entre níveis, repetindo a questão até obter a diagonal da matriz de desempenho utilizada pelo M-MACBETH. Uma das questões que se levantaram na entrevista foi relativamente ao grau de






preferência dos níveis Paisagem Urbanizada e Paisagem Industrializada. O especialista referiu a possibilidade de existir uma paisagem industrializada mas com uma CAV inferior ao de uma paisagem urbanizada, levando a uma nova reflexão sobre a descrição dos níveis. Com base nas respostas, foi calculada a escala, onde é apresentada a intensidade de preferência pelas diferenças de atratividade dos níveis, exposta na Figura 17.

Na classificação, deve-se atribuir à alternativa o desempenho correspondente ao elemento mais gravoso em impacto visual na paisagem em questão.

Tabela 12 – Descrição dos níveis de Modificação ao carácter da paisagem.

MCP <sub>i</sub>	V(MCP <sub>i</sub> )
Paisagem de elevada beleza cénica, onde praticamente não existiu mão do homem e contém elementos considerados como elementos de elevada beleza, zonas com mais acidentes geográficos, cursos de água, entre outros	100 (Elevado)
Paisagem rural com elementos patrimoniais isolados	67
Paisagem com poucos elementos urbanos	38
Paisagem urbanizada/ industrializada – zona predominantemente urbana, pode apresentar alguma indústria no entanto a mesma está dissipada pela envolvente e integração com o centro urbano.	9
Paisagem urbanizada/ industrializada forte – zona predominantemente industrializada (polígono industrial, várias elementos fabris, possibilidade de coexistência com urbanizações)	0 (Neutro)

Tabela 13 – Níveis do descritor Modificação no Caracter da Paisagem

Cenário	Fotografia	V(MCP <sub>i</sub> )
Paisagem de elevada beleza cénica ( <i>Elevado</i> )		100
Paisagem rural com elementos patrimoniais isolados		67
Paisagem com poucos elementos urbanos		38
Paisagem urbanizada		9
Paisagem muito industrializada ( <i>Neutro</i> )		0

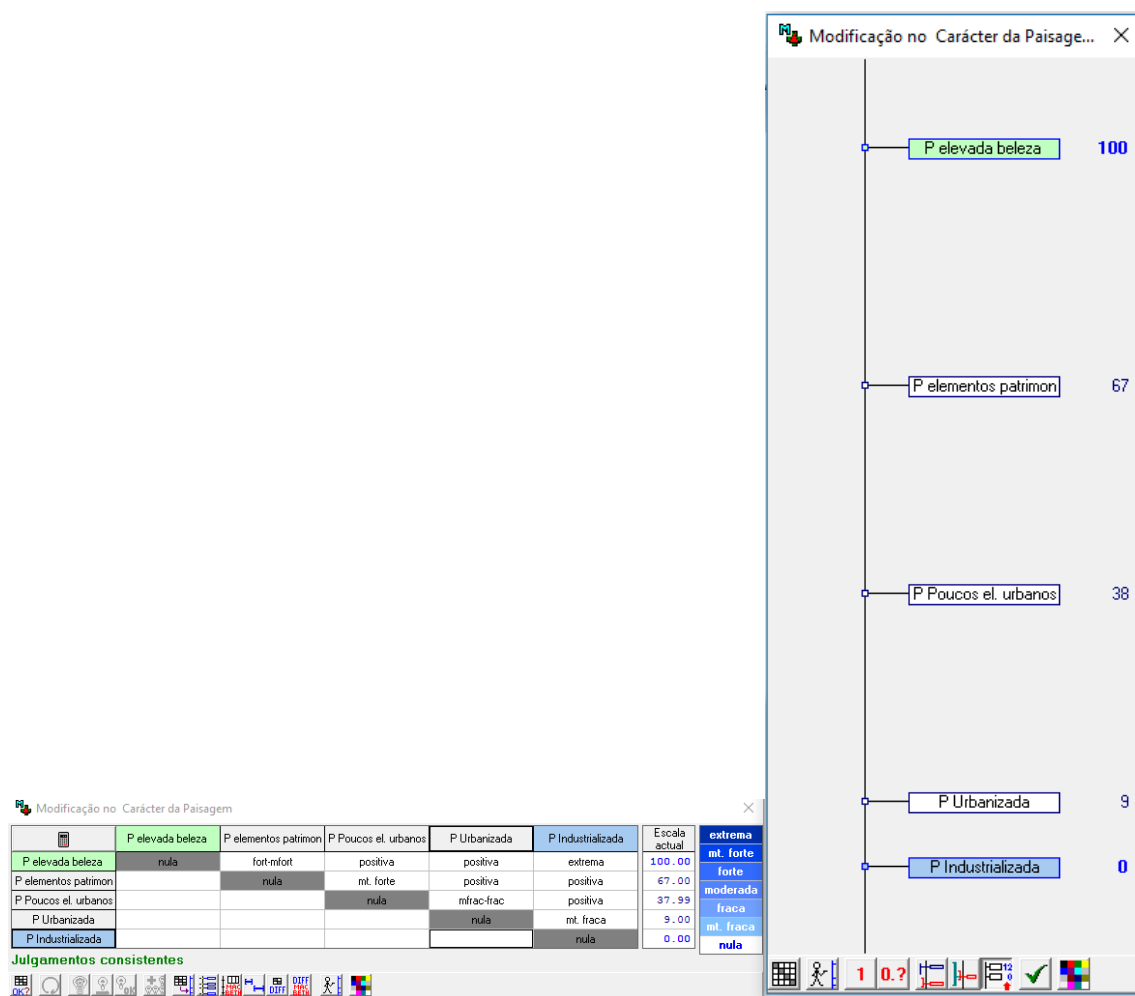


Figura 17 – Matriz de ponderação de julgamentos (à esquerda) e termómetro do indicador MCP (à direita).

## 4.5 – Agregação

### 4.5.1 - Alteração paisagística local

Sendo IV e APL considerados preferencialmente independentes, o valor de preferência associado ao desempenho em APL na célula  $i$ ,  $V(APL_i)$ , obtém-se por agregação aditiva de  $V(IV_i)$  com  $V(MCP_i)$ :

$$V(APL_i) = k_1 \cdot V(IV_i) + k_2 \cdot V(MCP_i). \quad (31)$$

Nesta igualdade  $k_1$  e  $k_2$  são constantes positivas que harmonizam as escalas em que  $V(IV_i)$  e  $V(MCP_i)$  se exprimem, sendo  $k_1 + k_2 = 1$ .

Para as determinar recorre-se à funcionalidade do MACBETH de auxílio ao questionar dos decisores sobre os pesos, fazendo aos especialistas a seguinte pergunta inicial:

**Questão:** Imagine um parque eólico caracterizado por nível Elevado em  $IV_i$  e nível Neutro em  $MCP_i$  e outro parque eólico caracterizado por nível Neutro em  $IV_i$  e nível Elevado em  $MCP_i$ . Qual consideraria o

**Resposta:** O parque eólico com um valor elevado em  $MCP_i$  com um nível Neutro de  $IV_i$  causa uma maior APL em comparação com um parque de  $MCP_i$  e elevado nível de  $IV_i$ .

Esta resposta permite ordenar os critérios por ordem decrescente de relevância para a APL<sub>i</sub>. Com essa informação passa-se a questionar sobre os pesos. A este respeito o especialista consultado reconheceu que para uma transição do nível neutro para elevado na MCP teria um maior impacto que essa mesma transição de níveis para a IV, permitindo concluir que:

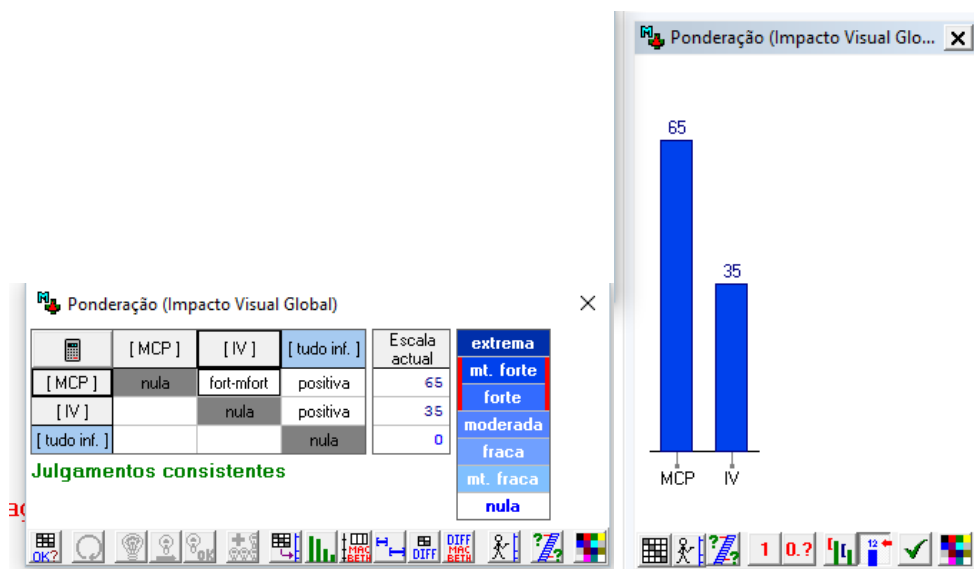


Figura 18 – Matriz de ponderação de julgamentos (esquerda) e ponderação do indicador APL (direita)

$$k_1 = 0,35 \quad ; \quad k_2 = 0,65 .$$

#### 4.5.2 - Impacto visual local

Como se considera que a Alteração paisagística local e a Exposição local são preferencialmente independentes o seu efeito conjunto no **Impacto visual local** (IVL<sub>i</sub>) pode ser modelado por uma regra de agregação aditiva:

$$IVL_i = y_1 V(EL_i) + y_2 V(APL_i) \quad (32)$$

Em que  $y_1$  e  $y_2$  são os pesos associados a estes critérios, sendo  $y_1 + y_2 = 1$

Para determinar estes pesos recorreu-se também ao método MACBETH questionando especialistas primeiro sobre qual dos critérios escolheriam se tivessem só um para aferir IVL e, depois, preenchendo a matriz de julgamentos.

Associando ao maior peso o valor 100, obteve-se a escala quantitativa normalizada apresentada na parte à direita da Figura 18.

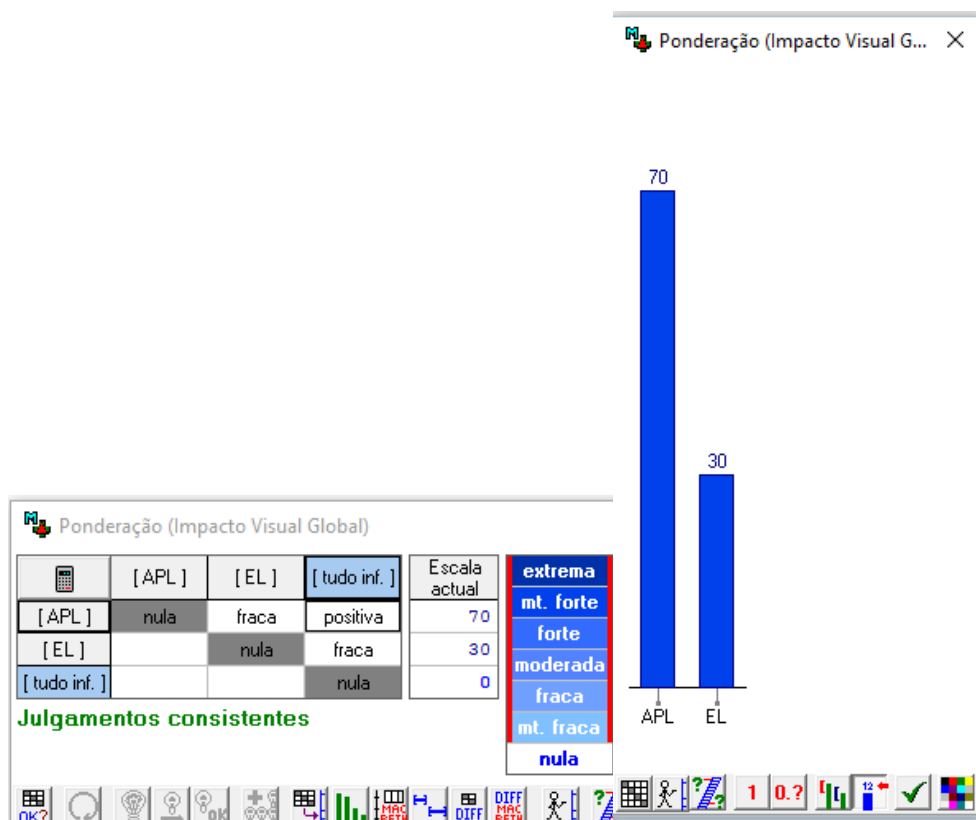


Figura 19 – Matriz de ponderação de julgamentos (esquerda) e ponderação do indicador IVL (direita)

$$Y1 = 0,3 \quad ; \quad Y2 = 0,7 \quad .$$

### 4.5.3 - Impacto visual global

Propõe-se que o Impacto visual global (IVG) seja determinado por:

$$IVG = \text{Sum}_i (IVL_i) \quad (33)$$

Este procedimento corresponde a agregar aditivamente esses resultados, admitindo igual ponderação em todas as células. Isto é equivalente a considerar que um menor impacto visual numa célula é compensado por um maior impacto noutra, independentemente de quais sejam. Tal pressuposto parece razoável.

Não há numericamente limite superior pré-definido para os resultados assim obtidos pelo que conviria dispor de níveis de referência. Para isso poderia recorrer-se a níveis Neutro e Elevado definidos nos descritores, assim como a situações extremas, como densidade populacional reduzida e máxima em todas as células. Especialistas poderiam ajudar a definir estes perfis.

## Capítulo 5

### Discussão

No desenvolvimento deste trabalho foram considerados como critérios para a avaliação do impacto visual: a Exposição Local, Ocupação Visual, Camuflagem e a Modificação no Caráter da Paisagem.

Na Exposição Local é considerado o número de observadores sensíveis ao impacto, moradores e utentes das autoestradas integradas na bacia de visualização dos parques. Considerando os níveis de densidade populacional por tipo de zona, é determinado o número de observadores que estão sujeitos ao impacto visual do parque. Uma possível melhoria a este aspeto seria a contabilização do tempo de observação em função do tipo de observador, por exemplo morador, turista, trabalhador, utente das estradas e acessos na bacia de visualização do parque, entre outros.

A ocupação visual é determinada pela percentagem de área de visualização que a(s) turbina(s) ocupa(m) no campo de visão humana. Através da representação gráfica do modelo apresentado pode-se verificar que a curva de ocupação visual corresponde ao observado na prática, conforme se pode verificar pelas fotografias na Tabela 9. Considerou-se que a ocupação visual de um parque é dada pela soma da área das turbinas, tendo sido determinada apenas, para simplificar a aferição da função de valor, a ocupação de uma turbina. Uma das hipóteses colocadas para determinação da área impactada seria analisando a área da envolvente do parque ao invés de considerar apenas a área das turbinas. No entanto, ao simular a ocupação visual da envolvente chegou-se a valores muito elevados para distâncias inferiores a 2 000 km. Efetivamente o parque a essa distância encontra-se “bem presente” no campo de visão, no entanto a percentagem não corresponde à perceção visual, nem é verificada nos exemplos fotográficos.

A camuflagem surge como fator atenuante da ocupação visual, uma vez que a orografia do terreno e o próprio estado do tempo influenciam a visibilidade da turbina. Como por exemplo, o nevoeiro reduz o campo de visão pelo que as turbinas sejam visíveis apenas a distância muito curtas (nível de menor impacto na Tabela 11). Uma vez que a camuflagem orográfica corresponde a um valor constante ao longo do tempo e a camuflagem climatérica é variável, pode ser desenvolvido um fator de climatologia que represente a variabilidade do descritor à semelhança do estudo efetuado pela autora T.Sibille (2009), descrito na revisão bibliográfica.

A Modificação do Carácter da Paisagem é determinada em função da capacidade de absorção visual da paisagem (CAV), quando maior for a CAV menor será a MCP e vice-versa. Junto do especialista foram determinados os níveis do descritor de forma a serem inequívocos, e contemplarem os cenários possíveis. Após terem sido definidos e ordenados os níveis, uma das questões que se levantou na entrevista foi relativamente ao grau de preferência dos níveis Paisagem Urbanizada e Paisagem Industrializada. O especialista referiu a possibilidade de existir uma paisagem industrializada mas com uma CAV inferior ao de uma paisagem urbanizada, levando a uma nova reflexão sobre a descrição dos níveis, resultando a Tabela 12.

A atribuição dos pesos foi efetuada com recurso ao software M-MACBETH conforme descrito no ponto 4.5. Os valores atribuídos aos pesos mostram uma estrutura de preferências em que, na questão de “resistência” da sociedade à implementação dos parques, é particularmente relevante a Modificação do Carácter da Paisagem. Tal circunstância não só foi



referida pelo especialista entrevistado, como também aferida da experiência pessoal do facilitador, obtida na bibliografia e opinião pública composta por elementos de diferentes áreas. Por forma a confirmar a aceitação do valor pode-se, num trabalho próximo ou no seguimento deste, fazer a abordagem do tema com um maior grupo de especialistas na matéria, com diferentes áreas de formação, e por consequência diferentes óticas, dada a subjetividade das questões colocadas.

Na realização deste trabalho procurou-se encontrar uma família de critérios que fosse independente no sentido das preferências, para tal foi necessário assumir alguns pressupostos, tão razoáveis quanto possível, no entanto, dada a complexidade e subjetividade do tema poderão existir opiniões contrárias. Caso se pretenda em trabalhos futuros considerar pressupostos menos simplificadores, pode-se por exemplo recorrer mais extensivamente à modelação em termos de dependência condicional, num modelo com semelhanças ao método espanhol (modelo multiplicativo de desempenhos) mas com intervenção de funções de valor. Pode-se também recorrer a regras de agregação que suportem critérios interdependentes, como as que envolvem o integral de Choquet (Gilboa and Schmeidler, 1992).

## **Capítulo 6**

### **Conclusões**

O impacto visual da instalação de parques eólicos é um tema que tem vindo a ser estudado por vários autores ao longo do tempo. Os autores que dedicaram a sua investigação aos modelos de avaliação de impacto visual utilizam diferentes metodologias para abordar o assunto e recorrem a diferentes critérios, não existindo nenhuma tendência definida nessa avaliação. O facto do impacto visual ser uma questão subjetiva contribui para existirem diversas abordagens efetuadas pelos investigadores, uma vez que algumas têm por base as questões sociais da cultura onde são desenvolvidos os estudos.

O impacto visual relaciona-se com a questão de aceitação social, sendo esta a principal razão para se ter recorrido a uma metodologia em que se modelam valores: Método Multicritério de Apoio à Decisão baseado na Teoria do Valor (Keeney, 1976, 1996). Além disso, como a aceitação social é fortemente influenciada pela cultura, um modelo destes oferece uma capacidade acrescida de adaptação a diferentes contextos.

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um modelo simples que, através de uma cuidada escolha de critérios, avalia o impacto visual de um parque eólico considerando um conjunto mínimo de critérios fundamentais - mas procurando abarcar os principais aspetos que têm sido associados ao impacto visual. A escolha dos critérios foi resultado da consulta de bibliografia, conversas com especialistas e alguns elementos de diferentes áreas de formação, de forma a representar uma visão mais alargada da população em geral.

O modelo construído é inovador na medida em que reúne critérios considerados relevantes ao processo de avaliação que apenas haviam sido abordados em separado, em modelos distintos. Neste trabalho, recorrendo ao método multicritério escolhido, tornou-se possível associar, num único modelo, aspetos objetivos, mais facilmente quantificáveis, e aspetos subjetivos, que não têm sido quantificados, como a modificação no carácter da paisagem.

Por exemplo, o “Método Espanhol” avalia o impacto visual do parque eólico considerando o número de observadores, a distância, orientação e número de turbinas. Uma das lacunas referidas neste método é a modificação ao caráter da paisagem, modelada neste trabalho como o elemento de maior peso na avaliação de impacto visual. Também vários autores optaram por abordar exclusivamente a visibilidade (Sibille, 2009; Rodriguez, 2009; entre outros) do parque como fator de impacto, à semelhança do “Método Espanhol”, onde a MCP não foi considerada para a avaliação. Ora uma das principais características de uma paisagem é a sua capacidade absorção visual, isto é, a capacidade que uma paisagem tem de dissipar o efeito da introdução de um novo elemento, sem perder a sua identidade ou caráter (Amir & Gidalizon, 1990).

O trabalho realizado permitiu uma análise abrangente dos vários fatores que influenciam o impacto visual de um parque eólico, tendo em conta as características do mesmo (número de turbinas, distância), as características da paisagem pré-existente (orografia, clima, análise do carácter da paisagem), os observadores e ainda aferições de valor (intensidade de preferência) onde antes apenas se consideravam indicadores de desempenho.

Procurou-se, na modelação proposta, que estas aferições de valor caracterizem a sensibilidade dos observadores segundo cada um dos parâmetros considerados e que, conjuntamente, expressem a sensibilidade ao impacto visual global dos parques eólicos, através da função de valor sintetizadora obtida.

Numa perspetiva de trabalhos a desenvolver futuramente, uma hipótese interessante a explorar seria a integração do tempo de observação em função do tipo de observador (morador, turista, utente das estradas localizadas na bacia de visualização do parque).

Também seria de interesse a implementação real do modelo num Sistema de Informação Geográfica, proporcionando uma classificação dos parques eólicos sem a necessidade de intervenção humana. Este sistema proporcionaria um mapa do impacto visual em cada ponto e, como previsto no modelo, realizando soma dos impactos individuais em cada ponto da bacia de visualização, um indicador quantitativo para o impacto global do parque. Integrado em ferramentas automáticas de pré-seleção de locais potenciais para instalação de parque eólicos, tal sistema permitiria às mesmas abarcar uma aferição de impacto visual que teria em conta uma mais ampla e aproximada modelação dos aspetos sociais.

## Bibliografia

- Amir, S.; Gidalizon, E. (1990). Expert-based Method for the Evaluation of Visual Absorption Capacity of the Landscape. *Journal of Environmental Management* (1990) 30, 251-263
- Bana e Costa, Carlos A.; Beinat, Euro (2011). Estruturação de Modelos de Análise Multicritério de Problemas de Decisão Pública, *Compêndio de Economia Regional*
- Bana e Costa, Carlos A.; Antunes Ferreira, José (2000). Metodologia Multicritério de Apoio à Avaliação de Propostas em Concursos Públicos. *Casos de Aplicação da Investigação Operacional* (pp. 336-363), McGraw-Hill, Lisboa
- Bana e Costa, Carlos A.; et al (2012). MACBETH. *International Journal of Information Technology & Decision Making*
- Bana e Costa, C. A.; Oliveira, Monica (2012). A multicriteria decision analysis model for faculty evaluation. *Omega* 40, 424–436, Lisboa
- Beinat, E. (1997). Value Functions for Environmental Management, Series: *Environment & Management*. Vol. 7, Springer Verlag.
- Cavallaro, Fausto (2005). A multicriteria approach to evaluate wind energy plants on an Italian island. *Energy Policy* 33 (2005) 235–244
- Chiabrando, Roberto; et al (2011). On the applicability of the visual impact assessment OAISPP tool to photovoltaic plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 845-850
- Chias, Pilar; Abad, Tomás (2013). Wind farms: GIS-based visual impact assessment and visualization tools. *Cartography and Geographic Information Science*
- Dockerty, Trudie; et al (2012). Public opinion on energy crops in the landscape: considerations for the expansion of renewable energy from biomass. *Journal of Environmental Planning and Management*. Norwich
- Delicado, Ana; et al (2013). Ambiente, paisagem, património e economia: Os conflitos em torno de parques eólicos em Portugal. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, 100, Maio 2013
- Devlin, Elizabeth (2002). Factors affecting public acceptance of wind turbines in Sweden , Suécia
- Frank, Susanne; et al (2013). Assessment of landscape aesthetics—Validation of a landscape metrics-based assessment by visual estimation of the scenic beauty . *Ecological Indicators* 32 (2013) 222– 231
- Gamboa, Gonzalo; Munda, Giuseppe (2007). The problem of windfarm location: A social multicriteria evaluation framework. *Energy Policy* 35 (2007) 1564–1583
- Gilboa, Itzhak; Schmeidler, David (1992). Additive representations of non-additive measures and the Choquet integral, EUA

Horbaty, Robert (2008) . Social Acceptance of Wind Energy Projects "Winning Hearts and Minds". Sweden

Hurtado, Juan; et al (2004). Spanish method of visual impact evaluation in wind farms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 8 (2004) 483–491

Jerpåsen , Gro B. (2011). Visual impact of wind farms on cultural heritage: A Norwegian case study. *Environmental Impact Assessment Review* 31 (2011) 206–215

Kapetanakis, I.A.; et al (2014). Parametric analysis and assessment of the photovoltaics landscape integration: Technical and legal aspects. *Renewable Energy* 67 (2014) 207-214

Keeney, Ralph L.; Raiffa H. (1976). Decision With multiple objectives preferences and value tradeoffs. Nova Iorque

Keeney, Ralph L. (1996). Value-Focused Thinking A Path to Creative Decisionmaking (1996)

Keeney, Ralph L. (2004). Framing public policy decisions. *International Journal of Technology, Policy and Management*. EUA

Kalivoda, Ondrej; et al (2014). Consensus in landscape preference judgments: The effects of Landscape visual aesthetic quality and respondents' characteristics. *Journal of Environmental Management* 137 (2014) 36e44

Landscape Institute (2002), Guidelines for Landscape and Visual Impact Assessment – second edition , Londres,

Maehr, Anna; et al (2015). Emotional response to images of wind turbines: A psychophysiological study of their visual impact on the landscape, *Landscape and Urban Planning* 142 (2015) 71-79

Manchado, Cristina; et al (2012). Wind energy development in Cantabria, Spain. Methodological approach, environmental, technological and social issues. *Renewable Energy* 40 (2012) 137e149

Manchado, Cristina; et al (2013). Visibility analysis and visibility software for the optimisation of wind farm design . *Renewable Energy* 60 (2013) 388e401

Mendes, Ligia; et al (2002) . A ENERGIA EÓLICA E O AMBIENTE Guia de Orientação para a Avaliação Ambiental, Alfragide

Mirasgedis, S; et al (2014). Valuing the visual impact of wind farms: An application in South Evia, Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39 (2014) 296–311

Möller, Bernd (2010). Spatial analyses of emerging and fading wind energy landscapes in Denmark. *Land Use Policy* 27 (2010) 233–241

Minelli, Annalisa et al (2014). An open source GIS tool to quantify the visual impact of wind turbines and photovoltaic panels. *Environmental Impact Assessment Review* 49 (2014) 70–78

Molina-Ruiz, José ; et al (2011). Developing and applying a GIS-assisted approach to evaluate visual impact in wind farms. *Renewable Energy* 36 (2011) 1125-1132

Oberholzer, Bernard (2005). GUIDELINE FOR INVOLVING VISUAL AND AESTHETIC SPECIALISTS IN EIA PROCESSES. África do Sul

Rodrigues, Marco; et al (2010). A method for the assessment of the visual impact caused by the large-scale deployment of renewable-energy facilities, *Environmental Impact Assessment Review* 30 (2010) 240–246,

Shang, Haidong; Bishop I.D. (2000). VISUAL THRESHOLDS FOR DETECTION, RECOGNITION AND VISUAL IMPACT IN LANDSCAPE SETTINGS, *Journal of Environmental Psychology* (2000) 20, 125-140

Schirpke, Uta; et al (2013). Predicting scenic beauty of mountain regions . *Landscape and Urban Planning* 111 (2013) 1– 12

Torres-Sibille, Ana del Carmen; Et al (2009). Aesthetic impact assessment of solar power plants: An objective and a subjective approach, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009) 986–999

Torres-Sibille, Ana del Carmen; Et al (2009). Development and validation of a multicriteria indicator for the assessment of objective aesthetic impact of wind farms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009) 40–66

Tsoutsos, Theodoris; et al (2009). Visual impact evaluation of a wind park in a Greek island. *Applied Energy* 86 (2009) 546–553

Tsoutsos, Theodoris (2014). Visual impact assessment method for wind parks: A case study in Crete. *Land Use Policy* 39 (2014) 110–120

Vissering, Jean (2011). A VISUAL IMPACT ASSESSMENT PROCESS FOR WIND ENERGY PROJECTS, EUA

Vries, Sierp; et al (2012). Eyesores in sight: Quantifying the impact of man-made elements on the scenic beauty of Dutch landscapes. *Landscape and Urban Planning* 105 (2012) 118– 127

Wüstenhagen, Rolf; et al (2007). Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. *Energy Policy* 35 (2007) 2683–2691

